geodiversitas

1998 • 20 (2)

Éditions scientifiques du Muséum, Paris

geodiversitas fait suite,
avec la même tomaison, au Bulletin du
Muséum national d'Histoire naturelle,
4e série, section C, Sciences de la Terre.

Rédacteur en chef :
Hervé Lelièvre

Conseil éditorial :
Annemarie Ohler (Nomenclature)

Assistante de rédaction :
Florence Kerdoncuff

Corrections-relecture :
Hélène Bertini
Sandrine Hoffart-Muller
Juliette Thomas

Comité scientifique :
Jean Broutin (UPMC, Paris)
Bruno David (CNRS, Dijon)
Jean-François Deconinck (USTL, Lille)
Patrick De Wever (MNHN, Paris)
Jean Marcoux (U. Denis Diderot, Paris)
Christian Ravenne (IFP, Paris)

Abonnements pour l'année 1998 (prix HT)
Annual subscription rates 1998 (excluding VAT)

Abonnement général / *General subscription* : 1800 FF
zoosystema : 800 FF
adansonia : 500 FF
geodiversitas : 800 FF

geodiversitas peut être obtenu par voie d'échange.
Pour toutes informations s'adresser à :
geodiversitas *may be obtained on an exchange basis. For further information please write to :*

Service des périodiques et des échanges de la
Bibliothèque centrale du Muséum national
d'Histoire naturelle
38 rue Geoffroy Saint-Hilaire
75005 Paris
Tél. : (33) 01 40 79 36 41
Fax : (33) 01 40 79 36 56

geodiversitas

Éditions scientifiques du Muséum, Paris

© Éditions du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 1998

PHOTOCOPIES :
Les *Publications Scientifiques du Muséum* adhèrent au Centre Français d'Exploitation du Droit de Copie (CFC), 20 rue des Grands Augustins, 75006 Paris. Le CFC est membre de l'*International Federation of Reproduction Rights Organisations* (IFRRO). Aux États-Unis d'Amérique, contacter le *Copyright Clearance Center, 27 Congress Street, Salem, Massachusetts 01970.*

PHOTOCOPIES:
The Scientific Publications of the Muséum *adhere to the Centre Français d'Exploitation du Droit de Copie (CFC), 20 rue des Grands Augustins, 75006 Paris. The CFC is a member of International Federation of Reproduction Rights Organisations (IFRRO).*
In USA, contact the Copyright Clearance Center, 27 Congress Street, Salem, Massachusetts 01970.

Les sédiments métallifères des fosses Atlantis II, Néréus et Commission I de la mer Rouge. Campagne MD 29 du *Marion Dufresne* (1981). Collections Lithothèque marine du Muséum.

Pierre CLÉMENT & Pierre-Jean GIANNESINI
Laboratoire de Géologie, CNRS-ESA 7073, Muséum national d'Histoire naturelle,
43 rue de Buffon, F-75231 Paris cedex 05 (France)

Clément P. & Giannesini P.-J. 1998. — Les sédiments métallifères des fosses Atlantis II, Néréus et Commission I de la mer Rouge. Campagne MD 29 du *Marion Dufresne* (1981). Collections Lithothèque marine du Muséum. *Geodiversitas* 20 (2) : 153-228.

RÉSUMÉ

Les carottages effectués dans les fosses de la zone centrale du rift de la mer Rouge (Atlantis II, Néréus et Commission I) ont prélevé sur le socle basaltique des séries sédimentaires métallifères d'âge Holo-Pléistocène. Les phases minérales principales, cristallisées et amorphes, de ces sédiments sont décrites dans leur contexte lithologique et la répartition verticale des faciès qu'elles caractérisent est comparée à la séquence lithologique de référence établie par Backer & Richter en 1973. L'analyse géochimique de certains éléments majeurs (Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Pb et Zn) a permis de mieux définir les phases porteuses de ces éléments. À titre d'hypothèse, le litage à différentes échelles (métrique et centimétrique, voire même millimétrique) est mis en relation avec les phénomènes de stratification et d'homogénéisation des saumures qui tapissent le fond de ces fosses, ainsi qu'avec les fluctuations bathymétriques des interfaces hydrologiques.

MOTS CLÉS
mer Rouge,
fosses,
sédiments métallifères,
litages,
saumures,
oxy-hydroxydes,
sulfures,
sulfates,
carbonates,
silicates de néoformation.

ABSTRACT

The metalliferous sediments from different deeps of the Red Sea (Atlantis II, Nereus and Commission I) collected during the Leg 29 of the Marion Dufresne *(1981). Collections of the marine core repository of the Muséum national d'Histoire naturelle.* During the Leg 29 of the *Marion Dufresne* (1981), thirty-four piston cores were collected in the metalliferous sediments deeps of the Central Rift Valley of the Red Sea (Atlantis II, Nereus and Commission I). The main amorphous or crystallized minerals from these sediments are recognized and permit proposing a vertical distribution of sedimentological facies in regard to lithological sequences of Backer & Richter (1973). A chemical analysis of Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Pb and Zn is used to identify the origin of these major elements. Metric, centimetric and even millimetric bedding of deposits is related to stratification and homogenization processes within the hot brines pool.

KEY WORDS
Red Sea,
deeps,
metalliferous sediments,
beddings,
hot brines,
oxy-hydroxydes,
sulphides,
sulphates,
carbonates,
authigenic silicates.

HISTORIQUE ET OBJECTIFS

Le rift de la mer Rouge, dont la formation remonte au Miocène inférieur (Hall *et al.* 1977), est jalonné de fosses (Fig. 1) dont l'hydrologie est caractérisée pour certaines d'entre elles (Atlantis II, Néréus) par une stratification de saumures chaudes correspondant à un lessivage des dépôts évaporitiques messiniens qui bordent l'axe du rift (Craig 1966 ; Schoell & Faber 1978). Le socle basaltique de ces fosses est soumis à une activité hydrothermale qui entretient l'anomalie thermique des saumures et leur enrichissement en métaux dissous. Il est recouvert d'une faible épaisseur de sédiments (0 à 50 m) dont l'âge de la base est Holo-Pléistocène. Il s'agit d'une stratification de dépôts métallifères d'origine hydrothermale (à oxydes et/ou à sulfures) et de carbonates pélagiques et détritiques caractérisant la sédimentation normale de la mer Rouge.

En 1965, un premier échantillonnage des dépôts minéralisés dans une fosse à saumures chaudes (Atlantis II) a été réalisé par l'*Atlantis* (Miller *et al.* 1966). L'intérêt suscité par cette découverte a été tel que, depuis lors, de nombreuses campagnes océanographiques ont permis de reconnaître et d'inventorier de nouvelles fosses minéralisées s'échelonnant le long de la zone axiale, et d'échantillonner à la fois les sédiments métallifères et les saumures qui leur étaient parfois associés. Parmi toutes les études effectuées, il faut retenir plus particulièrement celles de Backer & Richter (1973) qui ont établi la première synthèse lithostratigraphique relative aux corps sédimentaires minéralisés de la fosse Atlantis II (Fig. 2). Les horizons lithologiques caractéristiques ont été définis à la suite de l'inventaire des principaux faciès (pélagiques et détritiques, oxyhydroxydes, sulfures, sulfates, carbonates et silicates), et confirmés par Backer en 1976, alors que l'intérêt minier devenait évident compte tenu des concentrations en métaux comme le Fe, Zn, Cu, Pb, Mn, Ag, Au et Cd.

Avec cette double préoccupation (minière et lithostratigraphique), la campagne MD 29 du *Marion Dufresne* (Fig. 1) avait pour objectifs principaux d'étudier :

1. Les dépôts métallifères de la fosse Atlantis II.

– Identification des différents faciès : leur répartition verticale et la comparaison avec la zonation établie par Backer & Richter (1973) ; leur répartition horizontale sur les différentes morphostructures de la fosse (bassins, seuils, bordures).

– Études géochimiques et évaluation des teneurs en métaux des différentes unités métallifères identifiées.

2. Les produits de la sédimentation normale de la mer Rouge, pélagiques et détritiques.

– Prélèvements hors fosse métallifère Atlantis II (faciès de bordure), donnant la référence de cette sédimentation normale.

– Prélèvements dans d'autres fosses possédant (Néréus) ou ne possédant pas (Commission I) de saumures.

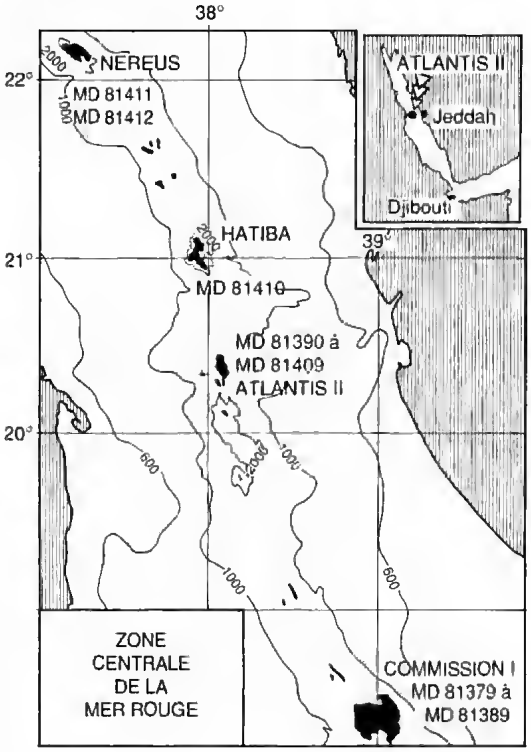


FIG. 1. — Carte bathymétrique simplifiée de la zone centrale de la mer Rouge. Sites de carottages dans les fosses Néréus, Hatiba, Atlantis II et Commission I (campagne MD 29, 1981).

Le Laboratoire de Géologie du Muséum avait pour charge l'étude détaillée de la lithologie et de la biostratigraphie des séries sédimentaires, niveau par niveau, permettant la constitution

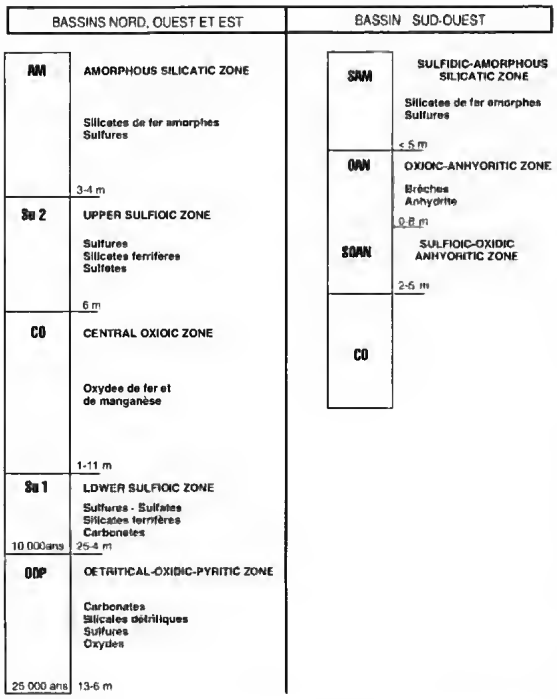


FIG. 2. — Séquence lithostratigraphique des sédiments métallifères de la fosse Atlantis II. D'après Backer & Richter (1973).

d'une base de données précise utilisable comme guide pour un échantillonnage plus spécifique. Il s'agissait à la fois d'identifier les différents faciès rencontrés, et de préciser leurs caractéristiques physiques (densité, teneurs en eau et en sels) et géochimiques (éléments majeurs : Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Pb, Zn). L'objet de l'étude était de définir les unités lithologiques, métallifères ou non, représentatives des fosses et de leurs différents secteurs.

MÉTHODES ET ÉCHANTILLONNAGE

Trente-quatre carottes ont été prélevées par carottage à piston grand diamètre (100 mm) : vingt carottages se sont déroulés dans la fosse Atlantis II (Fig. 3), onze dans Commission I, deux dans Néréus, et un dans Hatiba. Deux carottiers boîte grande section (1 m^2) de type SIPAN ont été mis en œuvre à proximité de Atlantis II, et ont été accompagnés de prises de vues sous-marines.

Le tableau 1 donne les principales caractéristiques de ces prélèvements, dont les positions sont reportées sur les figures 1 et 3. Le repérage des sites, sur ces zones de faible superficie, a nécessité systématiquement une reconnaissance bathymétrique par de courts profils orientés grossièrement est-ouest, de manière à bien délimiter, en particulier pour Atlantis II, les différentes morphostructures. Les profondeurs, corrigées selon les tables de Matthews, ont permis le recalage sur les cartes bathymétriques existantes, tandis que la position du navire était donnée par le système de navigation satellitaire. Avec ce double système de repérage, la précision de position a été estimée à un demi-mille. Enfin, l'utilisation d'un pinger pour l'approche du fond a été nécessaire, surtout en présence des saumures dont les différences de densité ont joué le rôle de réflecteurs.

LES CAROTTAGES

L'utilisation d'un carottier à piston dans une zone de faible épaisseur sédimentaire a nécessité des réglages délicats de hauteur de chute du carottier et de longueur de tubes (celle-ci devant être inférieure à cette épaisseur) de manière à éviter les torsions et les pistonnages.

Quelques carottages ont cependant atteint et échantillonné le basalte (MD 81384, 81395, 81398, 81400, 81401, 81403, 81406, 81409), provoquant dans tous les cas l'écrasement de l'ogive et parfois sa perte et/ou la torsion des tubes de carottage. Les anomalies observées dans la série sédimentaire, conséquentes à l'impact d'un carottier sur un fond dur (basalte, niveaux compactés, sables et graviers) sont connues et ont été répertoriées à partir des 517 carottages Kullenberg effectués à ce jour par le Laboratoire de Géologie du Muséum. Il s'agit :

– de figures concaves dues à un pistonnage ;
– d'étirement vertical du sédiment faisant penser à des structures dites en « cheminée » (exemple : base de la carotte MD 81399) ;
– de mélange de faciès ;
– de ruptures dans la série sédimentaire au niveau des variations brusques de la cohésion texturale (changements de faciès), créant des vides remplis d'eau de mer à l'origine d'aquifères artificiels ;
– de présence de débris d'ogive ou de plastique dans le sédiment.

TABLEAU 1. — Stations de prélèvements (extrait de « Geocores », Caulet *et al.* 1992). **LEG**, campagne MD 29 du *Marion Dufresne*. **ECHANT**, échantillon : **GS**, carottier Kullenberg ; **SI**, carottier boîte de 1 m² (SIPAN) ; **CS**, caméra sous-marine ; **ST**, sites des stations : **1-11**, fosse Commission I ; **12-33**, fosse Atlantis II et environs ouest ; **34**, fosse Hatiba ; **35**, **36**, fosse Néréus ; **LAT**, latitude nord ; **LONG**, longitude est ; **MAR**, carré de Marsden ; **PROF**, profondeur en mètres ; **LCAR**, longueur de la carotte en centimètres ; **LPVD** pour les carottages (GS et SI), longueur du contrepoids en centimètres ; pour les prises de vue sous-marines (CS), nombres de photographies.

FOSSES	LEG	ECHANT	ST	DATE	LAT	LONG	MAR	PROF	LCAR	LPVD
COMMISSION I	MD 29	GS 810379	1	181081	19.157	36.504	69	1725	87	15
	MD 29	GS 810380	2	181081	19.159	38.511	69	1910	1490	0
	MD 29	GS 810381	3	181081	19.165	38.522	69	1910	1650	0
	MD 29	GS 810382	4	181081	19.216	38.544	69	2030	1644	42
	MD 29	GS 810383	5	191081	19.186	38.576	69	2075	1450	0
	MD 29	GS 810384	6	191081	19.206	38.582	69	2220	15	0
	MD 29	GS 810385	7	191081	19.233	39.064	69	1830	900	0
	MD 29	GS 810386	8	191081	19.251	39.041	69	1900	1130	0
	MD 29	GS 810387	9	191081	19.250	39.028	69	1898	1660	57
	MD 29	GS 810388	10	201081	19.173	38.564	69	2108	1370	0
	MD 29	GS 810389	11	201081	19.145	38.535	69	1915	1111	0
ATLANTIS II	MD 29	GS 810390	12	201081	21.201	38.061	105	1900	885	65
	MD 29	GS 810391	13	211081	21.196	38.050	105	2045	1630	110
	MD 29	GS 810392	14	211081	21.199	38.057	105	2152	1275	50
	MD 29	GS 810393	15	211081	21.206	38.049	105	2160	103	56
	MD 29	GS 810394	16	211081	21.201	38.067	105	1925	530	26
	MD 29	GS 810395	17	211081	21.220	38.062	105	2050	575	70
	MD 29	GS 810396	18	211081	21.222	38.035	105	2120	1270	97
	MD 29	GS 810397	19	221081	21.214	38.036	105	2140	1200	95
	MD 29	GS 810398	20	221081	21.221	38.042	105	2120	1160	83
	MD 29	GS 810399	21	221081	21.222	38.040	105	2125	1075	110
	MD 29	GS 810400	22	231081	21.215	38.048	105	2170	0	100
	MD 29	GS 810401	23	231081	21.219	38.055	105	2060	0.	100
	MD 29	GS 810402	24	231081	21.218	38.057	105	2070	750	96
	MD 29	GS 810403	25	231081	21.222	38.057	105	2070	1550	96
	MD 29	GS 810404	26	231081	21.241	38.042	105	2090	880	96
	MD 29	GS 810405	27	231081	21.248	38.036	105	2090	900	0
	MD 29	GS 810406	28	241081	21.264	38.029	105	1950	30	65
	MD 29	GS 810407	29	241081	21.260	38.042	105	2080	830	100
	MD 29	GS 810408	30	241081	21.215	38.016	105	2000	525	100
	MD 29	GS 810409	31	241081	21.201	38.050	105	2170	470	100
	MD 29	CS 810025	32	251081	21.369	38.005	105	1535	0	372
	MD 29	SI 810027	32	251081	21.369	38.005	105	1535	70	0
	MD 29	SI 810028	33	251081	21.420	37.560	105	1700	100	0
	MD 29	CS 810026	33	251081	21.240	37.560	105	1700	0	358
HATIBA	MD 29	GS 810410	34	251081	22.027	37.527	105	2180	300	0
NÉRÉUS	MD 29	GS 810411	35	261081	23.110	37.150	105	2390	0	50
	MD 29	GS 810412	36	261081	23.120	37.140	105	2355	300	60

L'une ou plusieurs de ces anomalies peuvent n'affecter qu'une partie de la colonne sédimentaire qui reste donc en partie exploitable.

D'autre part, l'utilisation d'un câble en acier pour le carottage provoque un phénomène connu et inévitable de rappel élastique entraînant un étirement du matériel (TAAF 1980). Cette dilatation mécanique est fréquemment observée au cours des carottages à piston, de même qu'il n'est pas exclu qu'il y ait introduction d'eau de mer à la base de la série sédimentaire (Urvois 1987).

LES OBSERVATIONS À BORD

La fréquence des opérations, ainsi que la nature complexe du matériel récolté, n'ont pas permis d'effectuer, au cours de la campagne, les descrip-

tions visuelles détaillées habituelles, de même que les observations au microscope optique destinées à dresser le « log lithostratigraphique » de chaque série prélevée. Une description rapide a cependant été faite à bord pour tenter d'identifier les différents faciès rencontrés, par référence aux travaux en cours (Thisse 1982).

STOCKAGE

Compte tenu de l'instabilité de certaines phases minérales (sulfurées et argileuses), il a été nécessaire de maintenir sous atmosphère neutre (azote gazeux) le matériel récolté, au moins jusqu'à l'échantillonnage réalisé plus tard en laboratoire. L'ensemble de ces prélèvements a été stocké à basse température et intégré à la lithothèque marine du Muséum (Laboratoire de Géologie).

SÉLECTION DES CAROTTES DESTINÉES AUX ÉTUDES EN LABORATOIRE (Fig. 3)

L'examen lithostratigraphique préliminaire des trente-six carottes prélevées a montré qu'il n'était pas possible d'envisager, dans un premier temps, un dépouillement systématique de la totalité de la collection, en raison de la complexité des sédiments. Il a donc fallu effectuer une sélection, la plus représentative possible, de ces séries sédimentaires, de manière à définir des séries-types pouvant être extrapolées à l'ensemble des prélèvements. Sur la base des premières observations effectuées à bord, sept prélèvements ont été sélectionnés en fonction :

– de leur répartition géographique ;
– de leur longueur et de la diversité des unités traversées ;
– des problèmes de pistonnage et des perturbations du sédiment liées au carottage, plus particulièrement fréquents dans la fosse Atlantis II.

Fosse Atlantis II

MD 81399 : 2125 m, bassin ouest (BO).
MD 81403 : 2070 m, bassin est (BE).
MD 81404 : 2090 m, Nord Passage (NP).
MD 81409 : 2170 m, bassin sud-ouest (BSO).
MD 81408 : 2000 m, hors fosse, à l'ouest, bassin de Wando (BW).

Fosse Commission I

MD 81388 : 2108 m.

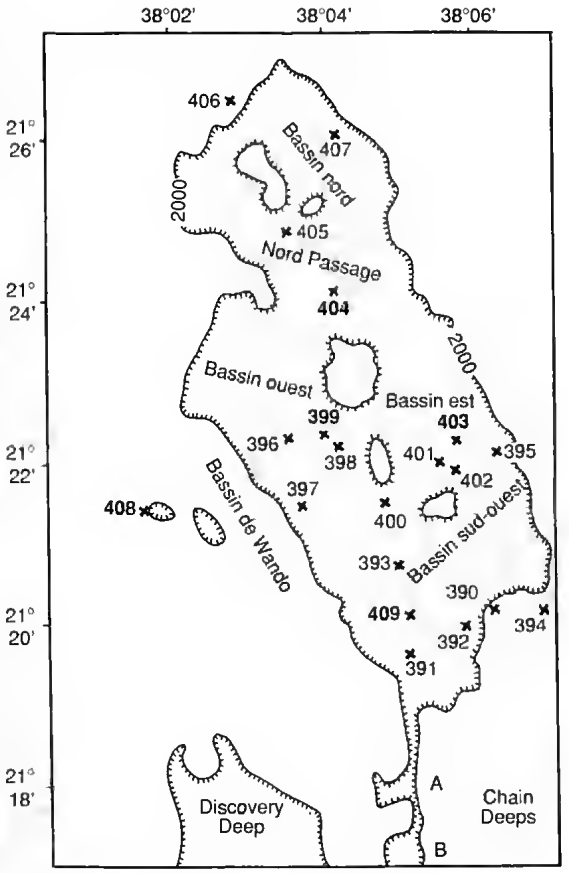


FIG. 3. — Sites de carottage dans la fosse Atlantis II.

Fosse Néréus (Bassin est)

MD 81412 : 2355 m.

Avant tout échantillonnage, il s'est avéré indispensable, vu la stratification multi-échelle des niveaux (allant du millimètre au mètre) et l'instabilité des couleurs de certains sédiments, d'effectuer la couverture macrophotographique de l'ensemble des carottes. Les « logs » photo, établis par montage de tirages papier (réduction de un tiers), ont ainsi permis de positionner avec précision les points de prélèvements et d'archiver les couleurs initiales des sédiments.

L'élaboration d'un protocole analytique (résumé dans l'annexe 1) a été long ; il devait à la fois tenir compte :

– des faibles prises d'échantillon dans les niveaux d'épaisseur millimétrique ;

– des teneurs élevées en eau et en sels dissous, nécessitant le dessalage systématique des sédiments avant toute analyse ;
– de l'importance de la phase amorphe dans certains niveaux, non identifiable en microscopie optique ;
– de la dissolution sélective (à HCl et HNO_3) de certains minéraux, et de la fragilité des composants argileux et amorphes aux attaques acides ;
– de l'instabilité des phases réduites en milieu ambiant, ayant nécessité la conservation des échantillons à analyser sous vide ;
– de l'importance de la fraction de petite taille (parfois plus de 75 % inférieure à 2 µm).

Les techniques mises en œuvre ont fait appel à :
– l'observation optique sur frottis au microscope et sur la fraction supérieure à 20 µm à la loupe binoculaire ;
– la microscopie à balayage (MEB) sur le matériel brut et la fraction granulométrique supérieure à 20 µm, avec sonde X attelée ;
– la calcimétrie, pour connaître les taux de $CaCO_3$ des niveaux carbonatés ;
– la diffraction X (sur poudre et fraction argileuse orientée) pour l'identification des phases cristallisées ;
– la spectrométrie d'absorption dans l'infrarouge (IR) sur l'échantillon brut, pour la détermination des phases amorphes et argileuses (cette méthode n'a pu être mise en œuvre pour la carotte MD 81388) ;
– la spectrométrie d'absorption atomique (AA), pour le dosage des éléments majeurs (Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Pb, Zn) solubilisés par double attaque acide HCl puis HNO_3.

Les mesures physiques (teneurs en eau, en sels dissous, porosité, densité...) ont été obtenues de manière pondérale sur chaque niveau.
Ces techniques sont décrites dans l'annexe 2.

RÉSULTATS : LITHOLOGIE ET MINÉRALOGIE

La description des différents faciès identifiés (le plus souvent en mélange dans les niveaux étudiés), leur composition, ainsi que leurs distributions verticale et horizontale, sont résumées dans les tableaux 2 à 5. Les annexes 6 (microscope optique), 7 (diffraction X) et 8 (spectrométrie infrarouge) donnent pour chaque carotte la composition minéralogique des niveaux étudiés. Les logs synthétiques des séries étudiées figurent dans l'annexe 3. Les caractéristiques minéralogiques ayant trait à chacun des composants majeurs de ces faciès font l'objet des commentaires ci-dessous.

LES FACIÈS À OXY-HYDROXYDES (Tableau 2)

La goethite

C'est l'hydroxyde le plus répandu dans l'ensemble des séries sédimentaires. Il présente plusieurs faciès minéralogiques suivant son degré de cristallinité, qui apparaît indépendant de l'âge du sédiment.

Dans les niveaux ocre ou orange (teneurs en goethite inférieure à 95 %), ce minéral est bien cristallisé. Il se présente sous forme de cristaux micro-aciculaires de taille inférieure à 2 µm, s'organisant parfois en sphérules de 5 à 10 µm (Fig. 4) ou sous forme cryptocristalline. Plus rarement, cette goethite bien cristallisée peut former des plaquettes indurées (faciès aciculaires) associées à de la manganite. L'analyse infrarouge a montré que cette goethite pouvait être fortement hydratée (en particulier dans son faciès cryptocristallin), s'apparentant en ce sens à de la limonite.

Dans les niveaux bruns à rouges, la goethite peut être bien cristallisée (structure aciculaire fibroradiée), mais elle est le plus souvent mal cristallisée. Il en est de même dans les unités silicatées supérieures (MD 81403, MD 81404) où elle est

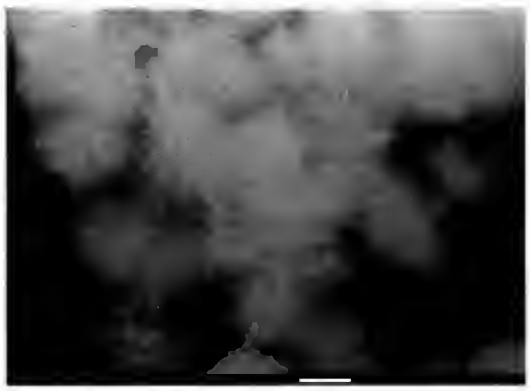


FIG. 4. — Agrégats aciculaires de goethite. Fosse Atlantis II, bassin ouest, MD 81399, 502 cm. Échelle : 10 µm.

TABLEAU 2. — Les oxy-hydroxydes : répartition géographique des composants majeurs (en gras) ; en italique sont indiquées les phases minérales associées.

COMPOSANTS MAJEURS	ATLANTIS II MD 81399/409/403/404/408	COMMISSION I MD 81388	NÉRÉUS MD 81412
Goethite **Oxy-hydroxydes de fer amorphes** *Hématite* *Manganite*	Toute la fosse : – lits bien individualisés de taille dm de couleur ocre (goethite pure), – dans les zones finement litées (mm) en alternance avec les niveaux carbonatés, – à la base de toutes les séries en alternance ou en mélange avec les dépôts calcaires, – dans la zone silicatée amorphe (goethite moyennement abondante).	En litage dans les niveaux bruns et à la base, associés aux boues carbonatées.	En alternance avec les lits carbonatés.
Hématite *Goethite*	Dans le bassin W : (au contact du basalte) en bancs rouges bien marqués. Dans les bassins W et SW : en association avec la goethite. Hors fosse : colore les carbonates en rouge.	Non détectées.	Deux lits intercalés dans la série carbonatée.
Lépidocrocite	Dans les bassins W, SW, E : – en lits rares de couleur orange dans les niveaux à goethite (MD 81403) ou carbonatés (MD 81399), – dans la zone AM de MD 81409.	Non détectée.	Non détectée.
Manganite *Todorokite* *Argiles* *Manganosidérite* *Dioxyde de Mn amorphe*	Relativement rare ; associée ou en alternance avec les oxy-hydroxydes de fer.	Rares. Composés amorphes dans les niveaux noirs.	Présents dans la zone litée supérieure.

associée à des composés amorphes dont elle semble dériver par cristallisation.

Les oxy-hydroxydes de fer amorphes
Ils ne peuvent être détectés que par spectrométrie IR. Étant souvent associés aux silicates amorphes et à la goethite mal cristallisée, leur identification au microscope optique est particulièrement difficile. Ils apparaissent sous forme de globules bruns à rouges dont le diamètre est de l'ordre de quelques microns, s'agglomérant en amas, et imprégnant les autres particules. Dans les séries étudiées, il semble que c'est dans Atlantis II qu'ils soient les plus rares ; ils sont fréquents hors fosse (bassin de Wando, MD 81408), et abondants dans les fosses Commission I (MD 81388) et Néréus (MD 81412), avec les premiers dépôts carbonatés.

L'hématite
Elle se présente sous deux formes.
1. Mal cristallisée, en faible quantité et toujours associée à la goethite : difficilement identifiable au microscope optique et par spectrométrie infrarouge (seule la diffraction X lève l'ambiguïté), elle est constituée de globules de grande taille

fortement colorés en brun-rouge (bassin ouest, MD 81399 et bassin sud-ouest, MD 81409).
2. Très bien cristallisée lorsque c'est un composant majeur (près de 90 % du sédiment) dans les bancs de couleur rouge brique (MD 81408, MD 81409, MD 81412), elle est constituée alors de grains de petite taille (quelques microns) ayant une forme parfaitement thomboédrique lorsque cette taille est supérieure à 10 µm (MD 81408).

La lépidocrocite
Uniquement présente dans la fosse Atlantis II, c'est un hydroxyde relativement rare pouvant constituer quelques lits de couleur orange lorsqu'il est le composant majeur. Il est souvent bien cristallisé, excepté dans la zone AM (*Amorphous-Silicate Zone*), et se présente sous forme de globules jaunes de taille inférieure à 1 µm, avec un faciès voisin de la goethite cryptocristalline.

Fig. 5. — Assemblage de cristaux prismatiques de manganite, constituant des plaquettes noires indurées dans les niveaux manganésifères de la carotte MD 81403 (Atlantis II, bassin est). Échelle : 10 µm.

Fig. 6. — Cristaux aciculaires de manganite. Fosse Atlantis II, bassin est, MD 81403, 586 cm. Échelle : 10 µm.

La manganite
Les lits manganésifères, de couleur noire (MD 81399, MD 81403, MD 81408), sont constitués de manganite pure (environ 100 % du sédiment), parfois associée à de la goethite et/ou de la todorokite. La manganite présente deux faciès cristallins pouvant coexister :
– cristaux noirs prismatiques et massifs (taille supérieure à 100 µm), identiques à ceux de la todorokite (Fig. 5) ;
– sphérules de couleur brun foncé, d'une taille d'environ 10 µm, formées de fines baguettes ou d'acicules disposés en bouquet (Fig. 6).
La manganite forme aussi de fines plaquettes indurées constituées d'un assemblage de cristaux aciculaires et prismatiques (bassin ouest, MD 81399 et bassin est, MD 81403).
L'étude à la microsonde électronique (Camebax), l'analyse infrarouge et l'observation de lames minces polies de certains niveaux à oxydes de manganèse de la carotte MD 81399 (230 cm et 270 cm) montrent que ces oxydes sont étroitement associés aux reliques carbonatées. Ces reliques contiennent non seulement du fer et du manganèse, mais aussi du zinc et du cuivre (0,4 à 0,5 %), caractéristique géochimique qui s'est transmise aux oxydes (Perseil comm. écrite).

Le dioxyde de manganèse amorphe
L'analyse infrarouge a permis de détecter ce composé amorphe assez rare (MD 81399, MD 81403, MD 81412 et vraisemblablement MD 81388), toujours associé à de la goethite et de la manganosidérite. Il se présente sous forme de sphérules d'aspect granuleux de couleur brun foncé, pouvant constituer près de 50 % du sédiment (MD 81403).

Les faciès à sulfures (Tableau 3)
Les sulfures les plus fréquents sont la pyrite et la blende, qui se trouvent toujours associées ; il n'a pas été observé, comme cela a été décrit par Backer & Richter (1973), de faciès monosulfuré (à pyrite seule).

TABLEAU 3. — Les sulfures : répartition géographique des composants majeurs (en gras) ; en italique sont indiquée les phases minérales associées.

COMPOSANTS MAJEURS	ATLANTIS II MD 81399/409/403/404/408	COMMISSION I MD 81388	NÉRÉUS MD 81412
Pyrite **Blende**	Dans toute la fosse. Quelques traces hors fosse (MD 81408).	Absents.	Présents à la base de la série.
Chalcopyrite *Sulfures amorphes* *Glauconie* *Manganosidérite* *Anhydrite, Gypse*	Disséminés dans l'unité silicatée récente (zone AM), se concentrant à la base. En bancs d'échelle dm à cm, généralement intercalés dans des unités silicatées.		

Ces deux minéraux se détectent bien par diffraction X, bien que le pic principal de la pyrite à 1,63 soit généralement moins marqué que celui à 2,70, et que ces deux pics se superposent à ceux de la blende. En spectrométrie infrarouge, la blende absorbe dans des fréquences trop basses pour être identifiée. En microscopie optique, seules les formes les plus grandes peuvent être observées, la pyrite en particulier sur les résidus d'attaque HCl. Par contre, le MEB et la sonde X attelée ont permis l'observation détaillée de ces minéraux, ainsi que leur composition chimique.

La pyrite

Dans les boues silicatées récentes (*Amorphous-Silicate Zone*), ce minéral se présente sous forme de petits grains cubiques (quelques microns), ayant tendance à s'agglomérer vers la base (Fig. 7). Dans cette unité, les comptages effectués à la sonde X indiquent que la pyrite n'a jamais sa composition stoechiométrique[1] (Fe/S = 1,2 avec des teneurs variables en Cu et Zn). Dans les bancs sulfurés plus marqués de couleur noire, la taille des cristaux de pyrite devient plus importante : il s'agit de cristaux ou d'amas cristallins de taille supérieure à 15 µm, imprégnant souvent les organismes siliceux (Fig. 8) et ayant sa composition stoechiométrique (Fe/S = 0,86).

Ce sulfure est bien cristallisé sous sa forme cubique, plus rarement tronqué en octaèdre. Il est très bien conservé et s'altère exceptionnellement en limonite et goethite (Nord Passage, MD 81404).

1. Composition stoechiométrique : Fe/S = 0,87.

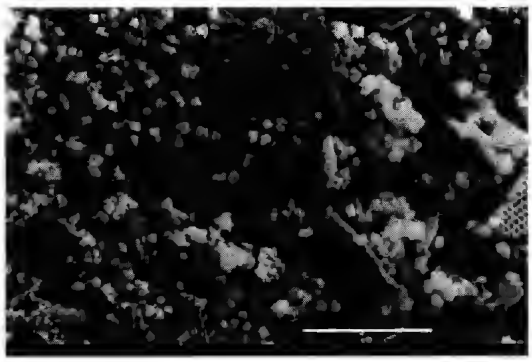


FIG. 7. — Mélange de petits cristaux de pyrite et de chalcopyrite, dans un lit sulfuré à silice biogène (diatomées et radiolaires). Fosse Atlantis II, Nord Passage, MD 81404, 585 cm. Échelle : 10 µm.

FIG. 8. — Amas subsphériques polycristallins de pyrite, avec 44 % de fer et 51 % de soufre (Sonde X). Fosse Atlantis II, bassin est, MD 81403, 883 cm. Échelle : 10 µm.

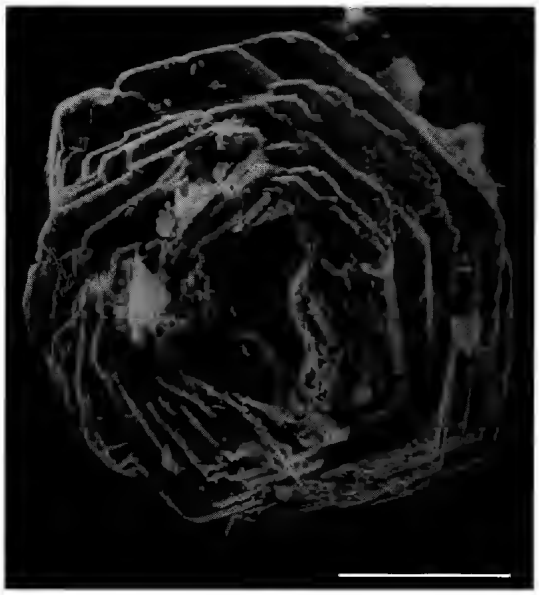


FIG. 9. — Cristal de blende à structure lamellaire recouvert de petits grains de silicates de fer. Fosse Atlantis II, bassin ouest, MD 81399, 552 cm. Échelle : 100 µm.

La blende
Plus abondante et grossière dans les bancs sulfurés noirs qu'à la base de la zone AM (formant des amas de quelques microns), on l'observe bien sur les résidus de tamisage à 20 µm : il s'agit de gros cristaux plus ou moins automorphes (Fig. 9) dont la taille peut atteindre 500 µm, ou de grains xénomorphes à aspect alvéolaire figurant vraisemblablement des phénomènes de dissolution. Les comptages effectués à la sonde X indiquent que ce sulfure n'a jamais sa composition stoechiométrique et qu'il peut contenir jusqu'à 10 % de fer (variété ferrifère : marmatite).

Autres sulfures (Perseil comm. écrite)
L'étude de lames minces polies des niveaux à sulfures de la carotte MD 81404 (Nord Passage), complétée par des analyses en spectrométrie IR et à la microsonde électronique (Camebax), a montré l'existence de chalcopyrite proche du pôle stoechiométrique ($CuFeS_2$) et d'une population moins importante voisine de la cubanite ($CuFeS_3$). Les nombreux points intermédiaires indiquent un passage progressif de l'un à l'autre pôle.

LES FACIÈS À SULFATES (Tableau 4)
Les composants principaux sont le gypse et l'anhydrite (pouvant coexister) et, plus accessoirement, la barytine. Le gypse et l'anhydrite se différencient difficilement en spectrométrie infrarouge et au microscope optique (chauffage), mais s'identifient bien à la diffraction X. Ils forment de gros cristaux tabulaires dont la taille est supérieure à 20 µm, très rarement mâclés, en bouquet ou fer de lance. Excepté dans l'unité de base de la carotte MD 81404 (constituée presque exclusivement d'anhydrite), on les trouve en mélange avec d'autres faciès (sulfurés et silicatés à influence sulfurée).
La barytine est un sulfate assez rare. On la trouve dans les niveaux à influence sulfurée (MD 81399, MD 81403 et MD 81404). Elle se pré-

TABLEAU 4. — Les sulfates : répartition géographique des composants majeurs (en gras) ; en italique sont indiquées les phases minérales associées.

COMPOSANTS MAJEURS	ATLANTIS II MD 81399/409/403/404/408	COMMISSION I MD 81388	NÉRÉUS MD 81412
Anhydrite	Dans toute la fosse.	Absents.	Absents.
Gypse	Disséminés ou en amas noduliformes dans des niveaux à influence sulfurée, plus rarement dans les niveaux silicatés.		
Barytine			
Sulfures	Constituent une unité d'échelle dm au Nord Passage (MD 81404)		
Argiles			

TABLEAU 5. — Les carbonates : répartition géographique des composants majeurs (en gras) ; en italique sont indiquées les phases minérales associées.

COMPOSANTS MAJEURS	ATLANTIS II MD 81399/409/403/404/408	COMMISSION I MD 81388	NÉRÉUS MD 81412
Manganosidérite	Abondante dans toute la fosse. Plus rare hors fosse (MD 81408).	Rare.	Rare.
Rhodocrosite *Sidérite* *Calcite* *Quartz, Feldspaths* *Halite* *Sulfures* *Carbonates biogènes*	En amas mono- ou polycristallins épars dans toute la série. En niveaux beiges plus ou moins lithifiés, surtout dans les zones silicatées en alternance. Sous forme de plaquette et nodules surtout dans les zones sulfurées.		
Calcite (Nannos et Forams) *Calcite magnésienne* *Manganosidérite* *Quartz, Feldspaths* *Aragonite*	Présente dans toute la fosse. Abondante hors fosse. Éparse dans tous les faciès, mais rarement associée aux sulfures. Abondante à la base des séries, constituant les marnes de la DOP ou les lits fins des zones litées.	Abondante dans toute la série.	Rare.
Aragonite *Calcite*	Rare. En lits indurés dans les dépôts carbonatés de la base.	En lits indurés.	Rare.

sente sous forme de sphérules à structure fibroradiaire dont la taille est supérieure à 20 µm. Elle peut apparaître aussi dans des niveaux à oxydes associée à de la goethite (MD 81404, niveau 390 cm et MD 81403, niveau 1177 cm).

LES FACIÈS CARBONATÉS (Tableau 5)

Les carbonates authigènes

Ces carbonates forment un groupe isomorphe qui se situe entre quatre pôles : ferrifère, manganésifère, calcique et magnésien, avec un taux de substitution du Ca très variable. La série la plus répandue est celle comprise entre les pôles ferrifère (sidérite) et manganésifère (rhodocrosite). Les critères qui ont été retenus pour le rapport Fe/Mn sont : supérieure à 9,2 pour la sidérite, inférieure à 0,1 pour la rhodocrosite, et compris entre 2,4 et 9,2 pour la manganosidérite. Toujours très bien cristallisés, ces carbonates sont identifiés par diffraction X et au MEB grâce aux comptages effectués avec la sonde X ; l'analyse infrarouge ne peut identifier que les tendances manganésifère et ferrifère.

La manganosidérite est de loin le plus répandu de ces carbonates mixtes dans Atlantis II, en faciès pur ou en mélange. Il s'agit, lorsqu'elle est éparse, de cristaux rhomboédriques de quelques microns, devenant coalescents pour former soit des empilements dont la longueur peut atteindre 100 µm, soit des amas polycristallins dont la taille est supérieure à 20 µm (Fig. 10) et qui sont fréquents dans les lits d'épaisseur centimétrique. Plus rarement, mais particulièrement dans les niveaux sulfurés, ces amas s'agglomèrent en plaquettes lithifiées.

En dehors d'une précipitation vraisemblablement directe d'une grande partie de la manganosidérite, ce carbonate peut trouver son origine ou son support de croissance dans des débris carbonatés pélagiques (coccolithes et foraminifères, Fig. 11) ; on observe alors des teneurs en Ca supérieures à 40 %, alors que dans les autres cas elles ne dépassent pas 10 %. Les comptages effectués sur les cristaux de manganosidérite montrent que le rapport Fe/Mn, dans les niveaux à influence réductrice (sulfures, smectites ferreuses)

FIG. 10. — Assemblage de cristaux de manganosidérite, avec Fe/Mn voisin de 4,7 (Sonde X). Fosse Atlantis II, Nord Passage, MD 81404, 525 cm. Échelle : 10 µm.

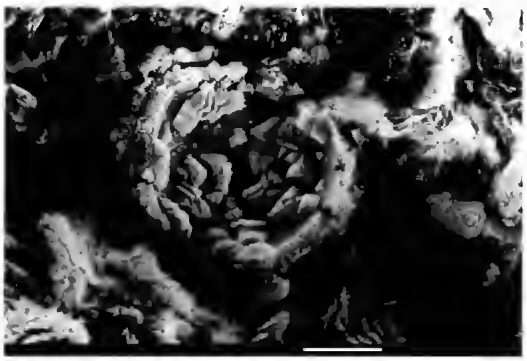


FIG. 11. — Loge de foraminifère avec recristallisations de manganosidérite. Fosse Atlantis II, bassin est, MD 81403, 648 cm. Échelle : 10 µm.

est relativement élevé (7 à 8), par rapport à ce que l'on observe dans les autres faciès (silicatés ou à oxy-hydroxydes) où il ne dépasse pas 4.

La rhodocrosite et la sidérite sont des minéraux rares. Ils présentent le même faciès que la manganosidérite et semblent se localiser, pour le premier dans les faciès à oxy-hydroxydes et les silicates amorphes (bassin sud-ouest, MD 81409) où il se trouve associé aux oxydes de Mn amorphes, et pour le second dans les sédiments à influence sulfurée.

Les carbonates bioclastiques

Ils correspondent à la sédimentation carbonatée pélagique normale : nannofossiles (coccolithes) et foraminifères. Ces bioclastes sont épars dans les faciès minéralisés à oxy-hydroxydes et silicates (mais rares dans les niveaux sulfurés), ce qui indique pour ces faciès un fort taux de sédimentation. Abondants vers la base des séries et en litages, ils montrent souvent un degré élevé de recristallisation, à mettre en relation avec une fraction « microcarbonate » importante et la présence de calcite magnésienne (détectée par diffraction X).

Dans le bassin de Wando (MD 81408), ces faciès carbonatés subissent un début de diagenèse : du sommet vers la base de la série, les organismes calcaires recristallisent, deviennent coalescents pour former des plaquettes dont la taille est supérieure à 20 µm, dans lesquelles ils sont difficilement reconnaissables, tandis que le manganèse entre dans le réseau cristallin calcitique, avec des teneurs pouvant atteindre 30 % (voir tableau en annexe 9).

Les niveaux aragonitiques sont rares : ils constituent des lits millimétriques indurés formés de fines baguettes parfois visibles à l'œil nu, et correspondent le plus souvent à des débris de ptéropodes.

LES FACIÈS SILICATÉS DE NÉOFORMATION

Les phases silicatées cristallisées (argiles) et amorphes sont les plus abondantes de la fosse Atlantis II ; elles ont une large répartition horizontale et verticale, bien que rares dans la DOP. Elles témoignent de l'importance de l'hydrothermalisme dans cette fosse.

Les argiles

Deux types d'argiles ont pu être identifiés par diffraction X et spectrométrie infrarouge : les smectites sl (argiles gonflantes mal ou bien cristallisées de couleur brune : montmorillonite ; nontronite ; glauconie mal cristallisée proche en infrarouge des nontronites) et les glauconies ss (argiles vertes bien cristallisées peu aptes au gonflement). Cependant, ces deux méthodes n'ont pas toujours donné des résultats concordants (surtout dans les zones silicatées supérieures, MD 81399 dans le bassin ouest, MD 81403 dans le bassin est, et MD 81409 dans le bassin sud-ouest) comme l'attestent à titre d'exemple les résultats de la carotte MD 81399 (voir tableau

en annexe 10). Ces deux phases minérales peuvent coexister et présentent deux faciès :

1. Un faciès brun-rouge formé de grandes plages à structures entrecroisées, à smectites et/ou glauconie.

2. Un faciès vert ayant une texture spongieuse à glauconie (pouvant s'apparenter à de la céladonite), cristallisant soit en feuillets, soit en globules de taille supérieure à 20 µm, riches en inclusions pyriteuses et composés amorphes (sulfures ?). Ce faciès vert s'observe fréquemment en alternances fines avec de la manganosidérite (MD 81399).

La cristallochimie de ces phases argileuses, ainsi que leur répartition spario-temporelle (Badaut, Blanc & Decarreau 1990) montre que dans la fosse Atlantis II, on trouve à la base des séries une argile de type ferripyrophyllite, sutmontée dans les bassins est et ouest d'une nontronite (Fe^{3+}), et dans le bassin sud-ouest d'une smectite ferreuse qui témoigne de conditions plus réductrices dans ce bassin. Les températures de cristallisation de ces argiles (d'après la composition isotopique de l'oxygène) sont de 60 °C pour la nontronite et 130 °C pour la smectite ferreuse, permettant de supposer des températures relativement faibles pour la formation des dépôts métallifères (Decarreau, Badaut & Blanc 1990).

Les silicates amorphes

Ce sont des silicates de fer. Ils sont présents dans toutes les séries étudiées, principalement dans les faciès silicatés argileux rouge sombre (zone AM) et à oxy-hydtoxydes, de même que dans les niveaux carbonatés des fosses Hatiba et Commission I. Leur identification s'appuie surtout sur les analyses infrarouges. Au MEB et au micros-cope optique, il est particulièrement difficile de les différencier, d'une part des composés silicatés mal cristallisés (smectites et glauconie), et d'autre part des oxy-hydroxydes amorphes. Ils se présentent au microscope optique sous forme de globules fortement colorés en jaune et montrent parfois un début de cristallisation. Leur association fréquente avec des smectites mal cristallisées laisse supposer qu'ils constituent le premier stade de cristallisation de ces argiles. Les comptages effectués sur ces composés indiquent des teneurs très variables en Fe et Si, le rapport Si/Fe variant de 1 à 6.

AUTRES FACIÈS

Silicates d'origine détritique

La fraction silicatée héritée est constituée essentiellement de quartz, de feldspaths (plagioclases surtout), de minéraux lourds et d'un cortège argileux composé d'illites, de chlorites, et de kaolinite (plus rare). Il n'existe pas de niveau purement détritique : ces éléments hérités sont souvent associés aux carbonates biogènes, constituant la sédimentation biodétritique normale de la mer Rouge. On les trouve épars dans toutes les séries de l'Atlantis II (plus abondants à leur base : DOP), et le long des colonnes sédimentaires des fosses Hatiba et Commission I où, dans certains niveaux, ils représentent près de 40 % du sédiment.

Cette fraction s'observe bien sur les résidus d'attaques acides (HCl et HNO_3), et ses teneurs peuvent être obtenues de manière pondérale lorsque les niveaux étudiés sont dépourvus de silicates néoformés. De même, sur les refus de tamis à 20 µm, on observe que cette fraction est constituée de quartz (dont cettains grains présentent au microscope des caractéristiques d'éolisation), de feldspaths, mais aussi de grands feuillets de type chlorite ou muscovite.

Enfin, il faut noter dans trois carottes la présence, entre 5 et 6,5 m, de verre volcanique rhyolitique non altéré dans des faciès à smectites sl (MD 81399, MD 81403) et des faciès carbonatés (MD 81408).

La silice biogène

Il s'agit essentiellement de diatomées et de radiolaires, plus rarement de silicoflagellés. Ces organismes sont très bien conservés et n'ont été détectés que dans la fosse Atlantis II. Ils n'apparaissent que dans les niveaux sulfurés bien marqués, parfois en forte concentration, tandis que les niveaux carbonatés pélagiques en sont totalement dépourvus.

La conservation de la silice biogène dans ces niveaux entièrement décarbonatés témoignerait de conditions physico-chimiques particulières des saumures : fortes teneurs en silice dissoute et action corrosive sur les particules carbonatées d'origine biodétritique (Anschutz & Blanc 1993).

GÉOCHIMIE

Les éléments tels que Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Pb et Zn ont été dosés par spectrométrie AA (voir protocole analytique dans l'annexe 2). Ces résultats, ainsi que les teneurs en $CaCO_3$, figurent dans l'annexe 5 et sont exprimés par rapport au poids sec dessalé. Ces données sont présentées ci-dessous de manière *synthétique et partielle* (à minéralogie dominante). En effet, l'analyse minéralogique a montré qu'une grande partie des niveaux étudiés en géochimie sont composés souvent d'un mélange de plusieurs faciès, ce qui signifie que ces teneurs sont le reflet de l'importance du mélange des différentes phases minérales porteuses de ces éléments.

Le fer

Le tableau 6 indique les teneurs en fer dans les différents faciès pour chaque carotte.

Les teneurs maximales (70 à 75 %) s'enregistrent dans les niveaux à oxydes purs (goethite, hématite, lépidocrocite). Dans les faciès silicatés, les teneurs varient entre 25 et 45 %. Elles dépendent à la fois du degré de cristallinité des smectites (plus faibles lorsqu'elles sont bien cristallisées : environ 25 %) et des concentrations en glauconie et manganosidérite.

Dans la fosse Atlantis II, les bancs sulfurés de la base montrent des teneurs bien plus faibles en fer total (15 à 20 %) que l'unité sulfurée supérieure (SU 2 de Backer & Richter 1973) où les composés amorphes perturbent le signal (teneurs comprises entre 25 et 35 %). Par contre, les valeurs du fer lié à la pyrite (de 5 à 15 %) indiquent que c'est à la base de ces séries que l'influence sulfurée est la plus marquée, alors qu'elles sont de l'ordre de 0,5 à 1,5 % dans les faciès sulfurés supérieurs. Les niveaux carbonatés enregistrent les teneurs les plus faibles, entre 2 et 10 %.

Dans les dépôts calcaires hors fosse Atlantis II (MD 81408, MD 81388, MD 81412), les teneurs en fer dépendent essentiellement de la fraction carbonatée en général peu ferrifère (carbonates biogènes) qui dilue les minéraux porteurs : oxy-hydroxydes (goethite, hématite), silicates amorphes et smectites.

Le manganèse

Excepté dans les faciès purs à oxy-hydroxydes (manganite, rodorokite, dioxyde amorphe) où les teneurs sont de l'ordre de 35 à 50 % (MD 81399, MD 81408), les valeurs mesurées dans les autres niveaux dépendent principalement de l'abondance relative de la manganosidérite et, plus accessoirement, de la rhodocrosite. La manganosidérite en particulier est extrêmement répandue en proportions très variables dans tous les autres faciès : les teneurs en Mn varient de 5 % dans les lits à manganosidérite dominante à 0,5 % dans les niveaux à oxydes de fer et sulfurés où elle a été détectée.

Dans les dépôts calcaires biogènes où les carbonates manganésifères ne sont pas détectés (base de la carotte MD 81408), mais où les teneurs en Mn sont comprises entre 2 et 5 %, cet élément se substitue au Ca des réseaux calcitiques, attestant là un début de diagenèse. Dans la fosse Commission I (MD 81388) où la manganosidérite est un minéral rare, les valeurs élevées (10 à 20 %) des boues carbonatées sont à mettre en relation avec des composés amorphes qui colorent en noir les sédiments.

Le zinc

Cet élément est un très bon indicateur de l'influence sulfurée, même lorsque l'analyse minéralogique ne détecte pas la blende. Ce n'est en général que lorsque les teneurs en Zn sont supérieures à 2 % que ce sulfure apparaît en diffraction X.

Dans la fosse Atlantis II où la blende est toujours présente dans les niveaux sulfurés, les teneurs en zinc se concentrent dans deux unités :

1. Dans les niveaux silicatés supérieurs (MD 81409, MD 81403, MD 81404), les valeurs croissent de 0,7 à 2 % du top à 2 à 5 % vers la base, marquant un passage continu de plus en plus sulfuré dans cette zone silicatée supérieure.

2. Dans les bancs sulfurés plus marqués de la base des séries, les teneurs sont très élevées, de 15 à 20 % (MD 81399, MD 81409, MD 81403), parfois plus importantes que celles du fer (MD 81399). Dans le Nord Passage (MD 81404), ces teneurs tombent à 2 %. Certains lits à sulfures de la carotte MD 81409 (niveaux 320 cm

TABLEAU 6. — Pourcentage en fer total. Les valeurs entre parenthèses correspondent au fer lié à la pyrite et à la chalcopyrite.

COMPOSANTS MAJEURS %	MD 81399	ATLANTIS II MD 81409	MD 81403	MD 81404	Hors fosse MD 81408	COMMISSION I MD 81388	NÉRÉUS MD 81412
Silicates amorphes	= 30	25 à 35 (1,5 à 2)	30 à 45 (0,1 à 0,5)	30 à 40 (0,5 à 1)		Teneurs très variables de 4 à 15 %.	
Composés amorphes Sulfures (SU 2 ?)	2 (12)	25 à 30 (2 à 3)	25 à 35 (0,5 à 2)	36 (0,5)		Fer lié aux composés amorphes, à la Mn-sidérite et la goethite.	
Goethite	60 à 70	65	50 à 55	55	57		66
Hématite		70					48,5
Lépidocrocite	44	43	45				
Glauconie ss	18 à 20 (0,5 à 2,5)	10 à 25 (1 à 1,5)	35 (0,5 à 1)	12 (2,5)	26 (0,4)		
Manganosidérite	20 à 40 (0 à 6)		2,5 (0,5)				
Silicates (smectites)des zones litées	20 à 50						
Sulfures (bancs de base : SU 1 ?)	15 à 25 (5 à 15)	12 à 25 (5 à 10)	15 à 20 (5 à 10)	20 (15)			

et 338 cm) montrent des teneurs exceptionnellement élevées (26 et 15 %), à mettre en relation, non seulement avec la présence de blende, mais aussi avec celle d'hydroxyde $Zn(OH)_2$ détecté en composant majeur par spectrométrie infrarouge. Dans les séries hors fosse Atlantis II (MD 81408 et MD 81412), les teneurs décelées en zinc, de l'ordre de 1 à 1,5 %, ont permis de mettre en évidence une faible influence sulfurée dans les dépôts carbonatés.

LE CUIVRE

Mis à part les rares niveaux légèrement sulfurés des séries carbonatées des carottes MD 81408 (niveau 448 cm avec 3800 ppm) et MD 81412 (niveau 272 cm avec 1,4 %), cet élément apparaît surtout dans les dépôts minéralisés de la fosse Atlantis II. Les valeurs en Cu total varient de 0,5 % à 1 % dans les zones silicatées supérieures (exceptionnellement 2 % dans le bassin ouest, MD 81399), et entre 1 et 2 % dans les boues sulfurées où la chalcopyrite est détectée. Dans certains niveaux où la glauconie est un élément majeur, ces teneurs varient entre 0,5 et 0,8 % (atteignant presque 3 % dans un lit à céladonite). Le cuivre montre un comportement particulier vis-à-vis des attaques acides : une partie de cet élément est lié à la phase soluble à HCl, en particulier dans les niveaux silicatés à glauconie et dans certains niveaux sulfurés où la chalcopyrite n'est pas détectée ; l'autre partie est solubilisée par attaque nitrique, principalement là où la chalcopyrite est détectée (RX et infrarouge).

Peu de sulfures, du moins ceux reconnus dans les dépôts hydrothermaux marins, sont solubles à HCl (exceptée la covellite non identifiée dans les sédiments d'Atlantis II). Cet élément est donc lié à deux phases minérales : l'une sulfurée cristallisée (pyrite, chalcopyrite), l'autre présente plus particulièrement dans les faciès silicatés réduits à glauconie et aussi à manganosidérite. L'examen au microscope optique des glauconies montre

que celles-ci sont riches en petites inclusions amorphes de couleur brun-vert, disparaissant après attaque chlorhydrique et correspondant vraisemblablement à des sulfures de cuivre amorphes. De tels composés ont déjà été observés dans des sédiments riches en nontronite et carbonates de la fosse Atlantis II (Brockamp *et al.* 1978 ; Missack *et al.* 1989).
Le cuivre est donc un élément caractéristique des dépôts réduits, même lorsque l'analyse minéralogique ne détecte pas de phase minérale porteuse.

LE COBALT, LE NICKEL, LE PLOMB
Le cobalt est un élément trace dans toutes les séries étudiées (quelques ppm à 200 ppm maximum). Le nickel montre des teneurs très faibles dans l'ensemble des dépôts (quelques dizaines de ppm), passant localement à quelques centaines de ppm dans les niveaux sulfurés. Les teneurs les plus élevées en plomb (1500 à 3000 ppm) apparaissent également dans les niveaux à pyrite et blende. Aucun minéral porteur n'a pu être identifié et les variations des valeurs enregistrées (hormis celles des niveaux sulfurés) ne sont pas significatives, vu l'erreur autorisée par les méthodes d'analyse mises en œuvre.

MESURES PHYSIQUES

Les teneurs en eau, en sels dissous et en $CaCO_3$, les poids de particules en gr/cm^3, les porosités ainsi que les pourcentages de la fraction inférieure à 20 µm figurent dans l'annexe 4.
Les calculs effectués ont montré que la porosité était corrélable avec les teneurs en eau et partiellement avec la granulométrie. La fraction supérieure à 25 µm est plus importante dans les niveaux sulfurés de la base (entre 6 et 10 % du matériel sec dessalé), dans les niveaux à manganosidérite et dans les boues carbonatées (de 15 à 20 %). Dans les autres faciès, cette fraction ne dépasse pas 1 %.
Le séchage et le dessalage des échantillons étant nécessaires pour l'analyse minéralogique, les teneurs en eau et en sels dissous ont été systématiquement déterminées pour chaque niveau étudié. En valeurs absolues, ces teneurs dépendent du temps de stockage des carottes avant leur échantillonnage (ici de l'ordre de deux ans), les teneurs en sels devant théoriquement augmenter avec ce temps de stockage par suite de la déshydratation du matériel. Cependant, à titre de comparaison, des mesures effectuées peu de temps après les carottages de la campagne Hydrotherm (Blanc 1987) ont montré que, sur un même site (bassin ouest d'Atlantis II) et sur deux séries présentant des unités lithologiques analogues (MD 81399 et MD 85684), ces teneurs étaient sensiblement identiques (voir annexe 11), à 2 % près. Il apparaît donc que les conditions de stockage du matériel dans les chambres froides du Laboratoire de Géologie du Muséum (sous atmosphère neutre et à + 4 °C) n'ont pas modifié ces paramètres, au moins durant les deux ans qui ont précédé l'échantillonnage.
Les résultats de ces mesures sont résumés dans le tableau 7. Dans toutes les séries étudiées, les teneurs en eau sont importantes et comprises entre 30 et 70 % suivant les faciès rencontrés (minimum dans les dépôts carbonatés de la base et maximum dans les unités silicatées supérieures). Ces faciès ayant une distribution verticale, il est difficile de faire la part, dans ces variations, de l'importance de la lithologie et de celle de la compaction due à la charge sédimentaire. Cependant, les profils de poids de particules en gr/cm^3, et de porosité en fonction de la profondeur d'enfouissement ne montrent aucune corrélation significative.
Les salinités des eaux interstitielles sont extrêmement élevées dans la fosse Atlantis II, et bien souvent supérieures à celle de la saumure inférieure (de 265 à 320 ‰ selon Miller *et al.* 1966 ; Brewer & Spencer 1969 ; Blanc 1987) qui se trouve à la limite de saturation NaCl. Il est donc probable que certains sels, en particulier les chlorures, soient exprimés minéralogiquement dans le sédiment brut humide, mais indécelables par suite des traitements subis par l'échantillon (séchage et lavages). Hors fosse (MD 81408), les salinités sont relativement élevées (140 à 160 ‰) par rapport à celle de l'eau de mer normale, ce qui laisse supposer un débordement des saumures de la fosse Atlantis II et un mélange avec les eaux de fond de la mer Rouge. Dans la fosse Néréus, les salinités des eaux interstitielles sont

TABLEAU 7. — Pourcentage en eau par rapport au poids humide et salinité (en g/l : valeurs entre parenthèses).

MINÉRALOGIE DOMINANTE	ATLANTIS II MD 81399	MD 81409	MD 81403	MD 81404	Hors fosse MD 81408	NÉRÉUS MD 81412
Silicates (unité sup.)	70 à 72 (285 à 310)	68 à 70 (345 à 350)	68 à 70 (340 à 360)	68 à 70 (350 à 360)		70 (85)
Sulfures et silicates (SU 2 ?)	*id.*	*id.*	*id.*			
Goethite	60 à 65 (320 à 350)	61 à 65 (340 à 350)	55 à 65 (360 à 370)			
Glauconie	68 à 70 (337 à 380)	62 à 72 (310 à 340)	70 (350)		80 (150)	
Manganite	58 à 62 (345 à 360)				70 (140)	
Sulfures (unités inf.)	50 à 60 (360 à 400)	55 à 70 (345 à 360)	53 à 60 (340 à 360)	63 à 65 (350)		
Anhydrite		38 à 57 (400 à530)		20 (500)		
Carbonates (DOP)	30 à 35 (350 à 400)		35 à 50 (320 à 350)		30 à 55 (150 à 160)	44 à 60 (50 à 60)

faibles (50 à 80 ‰), alors que des saumures à chlorinité élevée (188 ‰) ont été reconnues dans le bassin est de cette fosse (Backer & Schoell 1972).

Les corrélations linéaires teneurs en eau/teneurs en sels dissous (tous faciès confondus) sont extrêmement bonnes pour certaines séries (MD 81399, MD 81403, MD 81408, MD 81412, voir annexe 11), indiquant une relative constance de la salinité des eaux interstitielles le long de la colonne sédimentaire.

DISCUSSION

SYNTHÈSE LITHOSTRATIGRAPHIQUE ET CORRÉLATIONS AVEC LES SÉQUENCES TYPES

L'étude minéralogique et chimique a permis d'identifier les différents faciès et de dresser les « logs lithologiques » en marge desquels (voir annexe 3) a été tentée une corrélation avec les unités de référence établies pour la fosse Atlantis II par Backer & Richter (1973).

Dans Atlantis II (MD 81399, MD 81403 et MD 81404), les dépôts les plus anciens, datés du Pléistocène supérieur, sont les boues carbonatées qui constituent la *Detritical-Oxydic-Pyritic Zone* (DOP) de la base des séries. Cette zone est absente dans le bassin sud-ouest (MD 81409), tandis que dans le Nord Passage (MD 81404), le niveau à anhydrite lui est attribué (Backer & Richter 1973).

Les dépôts carbonatés représentent la sédimentation normale de la mer Rouge. Il s'agit de boues marneuses sans silice biogène, composées de bioclastes calcaires (nannofossiles, foraminifères, ptéropodes) subissant des évolutions diagénétiques (calcite magnésienne, carbonates de fer et de manganèse) et d'une fraction silicatée détritique (quartz, feldspaths, illites, chlorites, kaolinite).

Dans Néréus (MD 81412), les dépôts carbonatés de la base de la série sont relativement homogènes et rappellent ceux d'Atlantis II. Ils se poursuivent par une alternance centimétrique de lits carbonatés plus ou moins enrichis en

oxy-hydroxydes amorphes de fer ou de manganèse, à goethite ou manganite, aragonite et calcite magnésienne, smectites et silicates amorphes. Ces dépôts sont comparables à ceux décrits dans l'ensemble de la fosse par Bignell & Shabbir (1976).

Dans Commission I (MD 81388), on observe à la base une sédimentation « normale » à hémipélagites sans influences hydrothermales. Ces dernières n'apparaissent qu'à partir d'environ 10 000 ans (Schneider *et al.* 1983), sous la forme d'alternances de lits peu épais carbonatés « normaux » et de lits enrichis en oxy-hydroxydes amorphes de Mn et Fe et très riches en eau.

La goethite a une large répartition verticale et horizontale dans les séries carbonatées du bassin de Wando (MD 81388), ainsi que dans celles des fosses Commission I et Néréus où elle est associée aux oxy-hydroxydes de manganèse. Dans la fosse Atlantis II, on la trouve aussi en abondance dans les lits de la partie supérieure de la DOP où elle témoigne de la première installation de l'activité hydrothermale. À cette époque, une saumure existait vraisemblablement déjà et devait remplir toute la fosse (Anschutz & Blanc 1995a), mais les conditions devaient être suffisamment oxydantes pour entraîner le dépôt de ces oxydes, en particulier des oxy-hydroxydes de manganèse qui caractérisent les faciès de bordure et un environnement proche du « pôle eau de mer » (Anschutz 1993).

C'est aussi dans les sédiments détritico-carbonatés (DOP de Atlantis II, Néréus et bassin de Wando) que les premiers indices sulfurés se manifestent par la présence de pyrite dans des lits de faible épaisseur. Cette pyrite, dont la taille est parfois supérieure à 50 µm, pourrait être d'origine détritique, mais pourrait aussi résulter de l'activité bactérienne sulfato-réductrice (Wayne *et al.* 1980 ; Anschutz & Blanc 1995a).

Dans la fosse Atlantis II, la séquence carbonatée est surmontée par les premiers dépôts importants de sulfures. Ceux-ci apparaissent vers 12-15 000 ans (Wayne *et al.* 1980 ; Anschutz & Blanc 1995b) et sont constitués par des boues enrichies en pyrite et en blende correspondant à la zone SU 1 (*Lower-Sulfidic Zone*). Dans le bassin ouest (MD 81399), cette zone est caractérisée par deux niveaux sulfurés séparés par environ 1 m de sédiments finement lités à sulfures, silicates et manganosidérite. Ce double niveau à sulfures a été également observé dans ce bassin (Anschutz 1993). C'est dans le bassin est (MD 81403) que la zone SU 1 est la plus homogène et épaisse, confirmant l'importance de cette unité dans ce bassin (Urvois 1987). Dans le Nord Passage (MD 81404), la première influence sulfurée apparaît après le dépôt à anhydrite (lui-même légèrement pyritisé), suivie, après une alternance de niveaux à goethite et de zones litées carbonatées, d'un niveau riche en pyrite et chalcopyrite, sans blende. L'attribution de cette séquence à la zone SU 1 est difficile, en raison de nombreuses intercalations de niveaux à goethite et de séquences finement litées (voir annexe 3).

Le milieu correspondant à ces dépôts minéralisés devait être fortement réducteur avec la présence d'une saumure stable dont la profondeur du toit était plus faible (1920-1950 m) qu'elle ne l'est actuellement (Backer & Richter 1973).

Les dépôts d'ordre métrique à oxy-hydroxydes constituent la *Central-Oxydic Zone* (CO), pouvant être localement contaminée par des silicates (*Central-Oxydic-Silicatic Zone* : COS). Ces sédiments sont présents dans tous les sites étudiés, avec de fortes influences silicatées (silicates amorphes, smectites, glauconie) marquant la transition avec la zone SU 1 (COS). C'est dans le bassin ouest que cette unité est la plus épaisse : environ 3,6 m pour CO + COS. Dans le bassin sud-ouest, ces dépôts, constitués de goethite et d'hématite bien cristallisée, ont une faible épaisseur et reposent directement sur un basalte.

Cette unité marque dans la fosse Atlantis II une déstabilisation des conditions redox avec une réoxygénation du milieu qui a affecté toute la fosse.

Le retour à des conditions réductrices est marqué par le dépôt des sédiments sulfurés de la zone SU 2 (*Upper-Sulfidic Zone*) à argiles vertes (smectites et glauconie) passant progressivement à l'unité terminale à silicates et oxy-hydroxydes amorphes (*Amorphous-Silicatic Zone* : AM). Cette séquence a été nettement identifiée dans le bassin est et le Nord Passage. Dans le bassin ouest

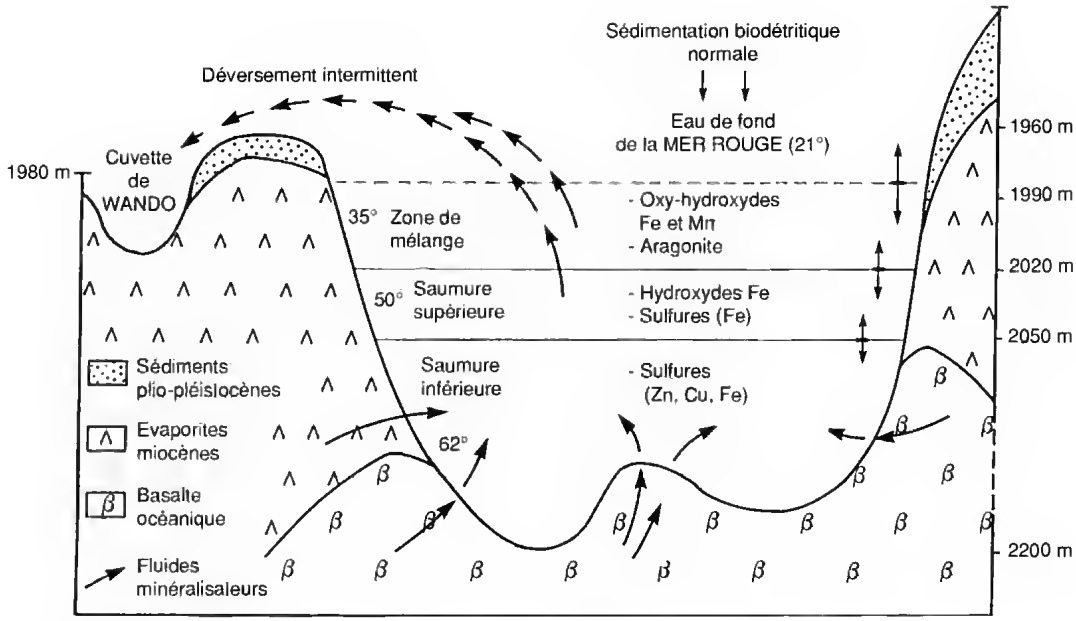


FIG. 12. — Coupe schématique de la fosse Atlantis II et localisation des zones de précipitation des principales phases minérales. D'après Cole (1983) et Hartmann (1985).

(MD 81399), la zone AM n'a pas été échantillonnée ; en effet, en raison de sa consistance liquide, son prélèvement par carottage est difficile. Dans le bassin sud-ouest (MD 81409) où les zones DOP et SU 1 sont absentes, la séquence est conforme à celle de Backer & Richter (1973). La zone SU 2 est remplacée par la *Sulfidic-Amorphous-Silicatic Zone* (SOAN) très riche en blende (teneurs en zinc voisines de 26 %). Elle repose sur des dépôts finement lités à sulfates et est surmontée par une boue silicatée à sulfures (*Sulfidic-Amorphous-Silicatic Zone* : SAM) à blende et pyrite.

LA STRATIFICATION MULTI-ÉCHELLE

L'étude lithologique a montré que les dépôts d'échelle métrique sont ceux qui sont nettement sulfurés (SU 1 et SU 2) ou oxydés (CO). Ces niveaux se présentent sous un aspect relativement homogène, de même que la couche terminale à silicates de fer, oxy-hydroxydes amorphes à barytine et sulfures dilués (zone AM).

La précipitation des sédiments métallifères dans la fosse Atlantis II dépend de la stratification des saumures, de leurs propriétés physico-chimiques (température, potentiel d'oxydoréduction, teneurs en métaux dissous), de l'importance des arrivées de fluides minéralisateurs ayant percolé à travers le socle environnant (basalte et roches évaporitiques) et de la position des sources hydrothermales. La figure 12 présente un schéma de la stratification des masses d'eaux et des niveaux principaux de précipitation des sédiments.

L'emplacement des sources hydrothermales semble avoir migré au cours du temps du nord vers le sud et se situerait actuellement dans le bassin sud-ouest (Backer & Richter 1973 ; Urvois 1987), ce que confirment des travaux plus récents (Blanc *et al.* 1995 ; Anschutz & Blanc 1995b) et les teneurs élevées en zinc (26 %) dans ce bassin (zone SOAN de MD 81409). L'arrivée de ces fluides pourrait s'effectuer sous forme d'un panache minéralisateur qui traverserait, en période paroxysmale, l'ensemble des saumures, provoquant leur réoxygénation et la précipitation des oxy-hydroxydes, et qui serait piégé en période d'activité plus faible dans les saumures sous-oxygénées où les sulfures se déposeraient (Urvois 1987).

Les différents modèles d'expansion verticale et de

refroidissement d'un panache hydrothermal au sein d'un système hydrologiquement stratifié (*in* Urvois 1987) n'indiquent pas la destruction de la stratification des saumures. Cependant, on observe dans la zone CO de la carotte MD 81399, située dans la saumure inférieure par 2125 m de profondeur, la présence de manganite et de todorokite (qui caractérisent les faciès de bordure dans Atlantis II et/ou un milieu très oxygéné), ce qui laisse supposer un événement hydrothermal singulier susceptible d'avoir oxydé la totalité de la fosse et profondément déstabilisé le corps des saumures (Leclaire *et al.* 1988).

Les stratifications d'ordre centimétrique ou millimétrique sont fréquentes dans les séries étudiées et semblent généralement constituer des séquences de transition entre les grands faciès :
– sommet de la DOP : alternances de goethite et de carbonates, puis de carbonates et de sulfures (MD 81403) ;
– SU 1 à CO : alternances de manganosidérite-smectites et de glauconie (MD 81399), lit à manganosidérite pour MD 81403 ;
– CO à SU 2 : alternances de glauconie et de manganosidérite (MD 81403) et de goethite-glauconie pour MD 81404 ;
– SOAN du bassin sud-ouest (MD 81409) : litages de sulfures et de glauconie.
Ces fins litages témoignent de variations de l'environnement sur de courtes échelles de temps. Les interfaces entre les différentes couches hydrologiques qui tapissent la fosse Atlantis II délimitent des zones où règnent des conditions physico-chimiques différentes (Fig. 12), et leurs profondeurs déterminent donc les limites bathymétriques des différents dépôts métallifères.
Pour les prélèvements de faible profondeur, on n'observe aucune influence hydrothermale nette dans les sédiments des bordures jusqu'à 1960 m environ, profondeur limite en raison du déversement des saumures vers le sud dans les fosses voisines « *Chain Deeps* » et dans « *Discovery Deep* » (Pugh 1969). La présence d'oxydes de manganèse et de couches épaisses de goethite dans le bassin de Wando implique un débordement de la tranche d'eau intermédiaire et/ou de la saumure supérieure, franchissant là un seuil vers 1980-1990 m.
Les seules mesures concernant les fluctuations en profondeur des interfaces hydrologiques concernent la période récente durant laquelle des relevés bathymétriques et de température ont montré une augmentation de l'activité hydrothermale, s'accompagnant d'une élévation de température des saumures et du toit de la saumure inférieure d'au moins 2 m entre 1965 et 1972 (Schoell & Hartmann 1978 ; Hartmann 1980 ; Monin & Plakhin 1982). D'autres auteurs ont constaté des variations récentes de température des saumures et aussi l'apparition de nouvelles stratifications entre 1977 et 1992 entre les deux saumures (Blanc & Anschutz 1995) ; le sommet de la zone de transition avec l'eau de mer se serait également élevé d'environ 80 m en 26 ans (Anschutz & Blanc 1996).
Ces observations à l'échelle de quelques années montrent que les variations de l'activité hydrothermale se manifestent par des fluctuations de profondeur des limites hydrologiques et/ou parallèlement par des changements dans l'épaisseur des saumures. Il est vraisemblable que de telles variations dans la stratification des saumures se soient produites au cours des 10-12 000 ans de l'histoire de la fosse Atlantis II, de manière plus ou moins intense selon l'importance de l'arrivée des fluides hydrothermaux. Bien que l'inventaire des fines laminations centimétriques et millimétriques ne soit pas complet, il apparaît que cette échelle de dépôt caractérise plutôt les séries de moyenne profondeur (2050-2100 m ; MD 81403 et MD 81404), là où les intersections avec les toits des saumures et celui de la zone de transition sont les plus probables.

CONCLUSIONS

Les prélèvements effectués dans les fosses Néréus (MD 81412) et Commission 1 (MD 81388) caractérisent la sédimentation biodétritique normale de la mer Rouge. Il s'agit de bassins de décantation oxygénés recevant de manière intermittente des « bouffées » de fluides hydrothermaux à l'origine des concentrations en fer et manganèse, et de l'influence sulfurée de la base de la carotte MD 81412. Le bassin de Wando (MD 81408) a enregistré les débordements des saumures de la fosse Atlantis II.

Sur la base des données minéralogiques et géochimiques, les séries de la fosse Atlantis II (MD 81399, MD 81403, MD 81404, MD 81409) ont pu être comparées aux séquences types établies par Backer & Richter (1973).

L'ensemble des unités (DOP, SU 1, CO, SU 2 et AM) a pu être reconnu, avec une unité silicatée COS (située à la base de la zone CO) bien plus développée. Dans le bassin sud-ouest (MD 81409) où se trouve actuellement le débouché des sources hydrothermales, on retrouve la zonation de référence (CO-SOAN-SAM). Dans le Nord Passage (MD 81404) par contre, les zones SU1 et CO ont été difficiles à identifier en raison des nombreux litages affectant la zone CO.

Ces unités sont caractérisées par les paragenèses les plus simples et sont généralement d'ordre métrique ou décimétrique. Les niveaux sulfurés témoignent de la « stratification » des saumures qui se sont établies dès les premiers dépôts sulfurés sur la DOP. Un événement majeur au moins a cependant été susceptible de détruire cette « stratification » avec les dépôts à goethite et oxydes de manganèse de la zone CO, par près de 2125 m de profondeur.

De nombreuses influences carbonatées et silicatées, plus rarement oxydées, d'échelle millimétrique ou centimétrique caractérisent les dépôts de transition. Ces laminites, qui représentent un court intervalle de temps, pourraient être significatives des fluctuations verticales qui auraient affecté les corps des saumures au cours de variations intermittentes de l'activité hydrothermale.

Les « logs » lithologiques et photographiques, ainsi que les données physiques et géochimiques des éléments majeurs (fer, cuivre, manganèse, zinc, $CaCO_3$) constituent une base de données détaillée représentative des différents faciès reconnus dans cette zone centrale de la mer Rouge, actuellement archivés dans la collection marine du Laboratoire de Géologie du Muséum.

Remerciements

Nous remercions particulièrement L. Leclaire† (professeur au Laboratoire de Géologie du Muséum) qui a été le chef de projet et de mission de la campagne océanographique en mer Rouge, et aussi l'initiateur de ces travaux. Nous remercions également J.-P. Cauler (Laboratoire de Géologie du Muséum) pour ses critiques et remarques, D. Badaut (Laboratoire de Géologie du Muséum) et E. A. Perseil (Laboratoire de Minéralogie du Muséum) pour leur contribution à ce travail. Nous remercions aussi F. Frohlich (Laboratoire de Géologie du Muséum) pour les déterminations minéralogiques par spectroscopie infrarouge.

RÉFÉRENCES

Anschutz P. 1993. — *Genèse et évolution géochimique des sédiments métallifères de la fosse Atlantis II (mer Rouge)*. Thèse de doctorat, Institut de Géologie, université Louis Pasteur, Strasbourg, 226 p.

Anschutz P. & Blanc G. 1993. — L'histoire sédimentologique de la fosse Atlantis II (mer Rouge). Les apports de la micropaléontologie. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 317, Série II : 1303-1308.

— 1995a. — Diagenetic evolution of the DOP facies from the Atlantis II Deep (Red Sea): evidence of early hydrothermal activity. *Oceanologica Acta* 18 (1): 105-112.

— 1995b. — Chemical mass balance in metalliferous deposits from Atlantis II Deep, Red Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59 (20): 4205-4218.

— 1996. — Heat and salt fluxes in the Atlantis II Deep (Red Sea). *Earth and Planetary Science Letters* 142: 147-159.

Backer H. 1976. — Facies und chemische Zusammensetzung rezenter Ausfäblungen aus Mineralquellen im Roten Meer. *Geologisches Jahrbuch* D 17: 151-172.

Backer H. & Richter H. 1973. — Die rezente hydrothermal-sedimentäre Lagestätte Atlantis II-Tief im Roten Meer. *Geologische Rundschau* 62 (3): 697-741.

Backer H. & Schoell M. 1972. — New deeps brines and metalliferous sediments in the Red Sea. *Nature Physical Science* 240 (103): 153-158.

Badaut D., Blanc G. & Decarreau A. 1990. — Variation des minéraux argileux ferrifères, en fonction du temps et de l'espace, dans les dépôts métallifères de la fosse Atlantis II en mer Rouge. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 310, Série II : 1069-1075.

Bignell R. D. & Shabbir S. 1976. — Geochemistry and stratigraphy of Nereus Deep, Red Sea. *Geologisches Jahrbuch* D 17: 173-186.

Blanc G. 1987. — *Géochimie de la fosse Atlantis II*

(mer Rouge). Évolution spatio-temporelle et rôle de l'hydrothermalisme. Thèse université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 233 p.

Blanc G. & Anschutz P. 1995. — New stratification in the hydrothermal brine system of the Atlantis II Deep, Red Sea. *Geology* 23 (6): 543-546.

Blanc G., Boulègue J. & Michard A. 1995. — Isotope compositions of the Red Sea hydrothermal end-membet. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 320, série IIa : 1187-1193.

Brewer P. G. & Spencer D. W. 1969. — A note on the chemical composition of the Red Sea Brines, *in Hot Brines and Recent Heavy Metal Deposits in the Red Sea.* Ed. Degens and Ross, Springer-Verlag, Berlin, 600 p.

Brockamp O., Goulard E., Harder H. & Heydemann A. 1978. — Amorphous Copper and Zinc Sulfides in the Metalliferous Sediments of the Red Sea. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 68: 85-88.

Caulet J.-P., Clément P. & Giannesini P. J. 1992. — « Geocores » : inventaire informatisé des roches et sédiments marins conservés au Muséum national d'Histoire naturelle. *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle*, série 4, C 14 (1) : 93-136.

Cole T. G. 1983. — Oxygen isotope geothermometry and origin of smectites in the Atlantis II Deep, Red Sea. *Earth and Planetary Science Letters* 66: 166-176.

Craig H. 1966. — Isotopic composition and origin of the Red Sea and Salton Sea geothermal brines. *Science* 134: 1544-1548.

Decarreau A., Badaut D. & Blanc G. 1990. — Origine and temperature of Fe rich clays from Atlantis II Deep (Red Sea). An oxygen isotopic geochemistry approach. *Chemical Geology* 84 (1/4), special issue: 363-364.

Hall S. A., Andreasen G. E. & Girdler R. W. 1977. — Total-Intensity magnetic anomaly map of the Red Sea and adjacent coastal areas, a description and preliminary interpretation. *Red Sea Research*, bulletin No. 22: 1-5.

Hartmann M. 1980. — Atlantis II Deep geothermal-brine system. Hydrographic situation in 1977 and changes since 1965. *Deep-Sea Research* 27A: 161-171.

— 1985. — Atlantis Deep geothermal brine system, chemical processes between hydrothermal brines and Red Sea deep water. *Marine Geology* 64: 157-177.

Holtzapffel T. 1985. — Les minéraux argileux. Préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Société Géologique du Nord* 12, 136 p.

Leclaire L., Clément P., Frohlich F. & Giannesini P.-J. 1988. — Stratification des corps minéralisés en mer Rouge : les fosses Atlantis II, Néréus et Commission I. *Colloque national sur l'hydrothermalisme océanique*, CNRS-IFREMER, Brest ; 113-115.

Miller A. R., Densmore C. D., Degens E. T., Hathaway J. C., Manheim F. T., Farlin P. F., Pocklington R. & Jokela A. 1966. — Hot brines and Recent Iron Deposits in deeps of the Red Sea. *Geochimica Cosmochimica Acta* 30: 341-359.

Missack E., Stoffers P. & El Gorsey A. 1989. — Mineralogy, patagenesis, and phases relations of copper iron in the Atlantis II deep, Red Sea. *Mineralium Deposita* 24: 82-91.

Monin A. S. & Plakhin E. A. 1982. — Stratification and space-time variability of Red Sea hot brines. *Deep-Sea Research* 29: 1271-1291.

Pugh D. T. 1969. — Temperature mesurements in the bottom layers of the Red Sea brines, *in Hot Brines and Recent Heavy Metal Deposits in the Red Sea.* Ed. Degens and Ross, Springer-Verlag, Berlin, 600 p.

Schneider W., Probst U. & Staenicke J. 1983. — Sedimentological patterns around hydrothermal centers in the Red Sea and Gulf of Aden. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, Hannover 134: 61-93.

Schoell M. & Faber E. 1978. — New isotopic evidence for the origin of the Red Sea brines. *Nature* 275: 436-438.

Schoell M. & Hartmann M. 1978. — Changing hydrothermal activity in the Atlantis II Deep geothermal system. *Nature* 274: 784, 785.

Territoire des TAAF. Direction des laboratoires scientifiques, 1980. — *« SYMPAS » (modèle TAAF). Système modulaire de prélèvement des aires sous-marines.* Notice interne technique, 40 p.

Thisse Y. 1982. — *Sédiments métallifères de la fosse Atlantis II (mer Rouge) ; contribution à l'étude de leur contexte morpho-structural et de leurs caractéristiques minéralogiques et géochimiques*, Thèse 3e cycle, université d'Orléans, 155 p.

Urvois M. 1987. — *Apports de l'estimation géostatistique de l'épaisseur des unités métallifères dans la compréhension des mécanismes de mise en place des sédiments de la fosse Atlantis II (mer Rouge).* Thèse de doctorat, université d'Orléans, 203 p.

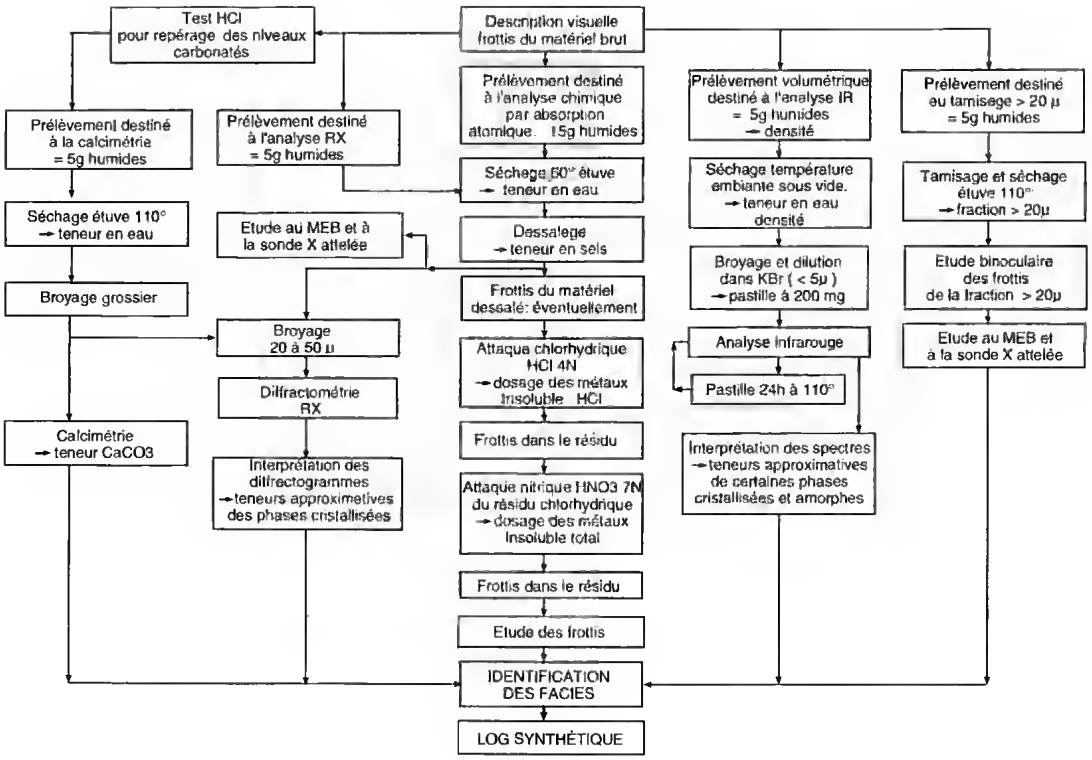
Vergès E. 1979. — *Conditions d'accumulation des métaux dans les sédiments superficiels de l'océan Indien. Implications géochimiques.* Thèse de l'université Pierre et Marie Curie, Paris VI.

Wayne C., Shanks W. C. & Bischoff J. L. 1980. — Geochemistry, Sulfur Isotope Composition, and accumulation Rates of Red Sea Geothermal Deposits. *Economic Geology* 75: 445-449.

Soumis pour publication le 6 février 1997 ;
accepté le 23 juillet 1997.

ANNEXE 1

PROTOCOLE ANALYTIQUE



ANNEXE 2

MÉTHODES D'ANALYSES

MESURES PHYSIQUES

Teneurs en eau

Une étude préliminaire sur les différents faciès de la carotte MD 81404 (faciès à glauconie, à goethite, à sulfures, à anhydrite) ainsi que sur des unités lithologiques reconnues (DOP de MD 81391, CO de MD 81392, AM de MD 81396, SU 1 de MD 81397) a permis de déterminer les modalités de séchage de l'échantillon. L'examen des courbes de la perte en eau en fonction de la rempérature (température ambiante sous vide, 60 °C et 100 °C en étuve) a montré que le mode de séchage à 60 °C pendant quatre jours était le plus approprié et n'altérerait pas l'échantillon. Celui-ci, une fois séché, peut récupérer jusqu'à 25 % de son poids sec par absorption de l'humidité ambiante, ce qui nécessite sa conservation sous vide à température ambiante.

Teneurs en sels

Elles sont calculées de manière pondérale, après lavages successifs dans de l'eau déminéralisée (de conductivité inférieures à 4 µS) et centrifugations. Une vérification de la salinité des eaux de lavage de l'échantillon de référence à l'aide d'un salinomètre a montré un écart de 1 % avec la méthode pondérale. Les phénomènes de déflocu-

lation interviennent au quatrième lavage et affectent surtout les faciès à oxydes. L'erreur relative sur ces teneurs est de l'ordre de 6 %. Pour la carotte MD 81388 (Commission I), les teneurs en sels sont faibles (0,5 à 3 %), comprises dans la marge d'erreur. Elles n'ont pas été prises en compte pour le calcul des teneurs en métaux.

POIDS DE PARTICULES EN gr/cm^3
Il n'a pu être calculé que sur les niveaux suffisamment tendres et épais (supérieurs à 0,5 cm) par prélèvement volumétrique du sédiment humide.

POROSITÉ
C'est le pourcentage volumétrique occupé par l'eau interstitielle avec ses sels dissous. Elle se déduit du poids volumétrique du sédiment humide et de son poids sec salé.

FRACTION SUPÉRIEURE À 20 MICRONS
Cette fraction destinée à l'observation au MEB a été estimée de manière pondérale par tamisage sous eau. Les niveaux argileux bien cristallisés (smectites et glauconie) se sont avérés intamisables du fait de leur texture spongieuse.

TENEURS EN $CaCO_3$

Ces teneurs ont été calculées par mesure du volume dégagé par attaque HCl 4N à froid. Cette méthode permet de doser les teneurs en calcite, calcite magnésienne et aragonite. Les autres carbonates (manganosidérite, rhodocrosite, sidérite, dolomie et ankérite) sont très faiblement solubles dans HCl à froid. Le dégagement gazeux lent et tardif correspondant à ces carbonates n'a donc pas été pris en compte. L'erreur relative maximum est de 1,5 %.

DOSAGE DES ÉLÉMENTS MAJEURS (Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Pb, Zn)

La méthode utilisée a pour objectif la mise en solution des métaux contenus dans les phases carbonatées, oxydées et sulfurées tout en ménageant au maximum la phase silicatée (détritique et argileuse authigène).

Cette mise en solution s'est effectuée par double attaque acide : HCl d'abord, puis HNO_3 ensuite pour solubiliser certains sulfures comme la pyrite. Des essais préalables sur des échantillons de référence ainsi que sur les faciès CO et AM des boues métallifères de la fosse Atlantis II ont permis de déterminer les temps d'attaque, les températures et les concentrations acides les mieux adaptées. Un tel protocole avait d'ailleurs été en partie testé précédemment sur des échantillons de boues rouges de l'océan Indien (Vergès 1979) pour ménager les phases néoformées comme les smectites et les glauconies.
Le choix s'est porté sur une première mise en solution de l'échantillon (dessalé et séché) par HCl 4N pendant une heure au bain-marie, avec reprise du résidu pour une attaque HNO_3 7N au bain-marie pendant une heure. Les solutions d'attaque ont été dosées par spectroscopie d'absorption atomique (Perkin-Elmer 272, série X60). Un échantillon de référence mer Rouge a suivi systématiquement la chaîne de traitement (de la phase de dessalage à celle de l'analyse des solutions en spectrométrie AA), de manière à détecter toute anomalie. Les résultats obtenus sur cet échantillon ont permis de préciser l'ordre de grandeur des erreurs relatives, égales (pour un intervalle de confiance au seuil de 5 %) à :

$$\pm \frac{1{,}96 \times \text{E. type}}{\text{Moyenne}}$$

Ces erreurs sont de 6 % pour les teneurs en sels, 9 % pour l'insoluble total, 5 % pour le cuivre total, 10 % pour le fer total, 8 % pour le manganèse et 9 % pour le zinc. Les valeurs obtenues pour le nickel, le cobalt et le plomb sont trop faibles pour être significatives. Les erreurs sont importantes pour le fer et le cuivre liés à la phase soluble à HNO_3 en raison de la reprise du résidu HCl pour la mise en solution HNO_3. Cependant, ces valeurs ont été reportées sur les tableaux de résultats de manière à repérer les niveaux où les teneurs sont les plus fortes.
Les observations au microscope optique des résidus d'attaque chlorhydrique et des résidus finaux, ainsi que le contrôle de leur composition minéralogique par spectrométrie infrarouge et

diffraction X ont permis de tester la validité de la méthode.
– Les oxy-hydroxydes cristallisés (magnétite, lépidocrocite, goethite, limonite, manganite) et amorphes, la blende, les carbonates (calcite, sidérite, manganosidérite, rhodocrosite, ankérite, dolomite), et le gypse sont solubilisés par la première attaque chlorhydrique.
– L'anhydrite est faiblement solubilisée par les deux acides et se retrouve en partie dans le résidu final.
– La pyrite et la chalcopyrite sont insolubles dans l'acide chlorhydrique et totalement solubles dans l'acide nitrique.
– La barytine n'est pas solubilisée.
– Les smectites et glauconies bien cristallisées sont insolubles, mais on observe pour les smectites en particulier une décoloration indiquant une perte en métaux qui n'affecte pas leur structure cristalline. Ces mêmes composés peu ou mal cristallisés deviennent solubles dans les acides.
– La fraction silicatée détritique (quartz, feldspaths, minéraux lourds, verre volcanique, illites) n'est pas touchée par ces attaques acides.

L'ANALYSE INFRAROUGE
(Spectromètre Pye Unicam SP 2000)

Les échantillons analysés ont été séchés à température ambiante sous vide et n'ont pas subi le dessalage. Une double dilution dans le KBr (0,25 % de sédiment sec salé pour 99,75 % de KBr) a été nécessaire pour la confection de pastilles à 200 mg en raison de l'absorption par certains composés (silicatés et argileux) de l'humidité ambiante.
Un premier balayage de la totalité du spectre IR sur la pastille brute a permis l'identification de l'ensemble des composés. Un deuxième passage plus restreint dans les fréquences comprises entre 2700 et 3800 cm^{-1} (en enregistrement notmal et dilaté) a été effectué sur la pastille étuvée 48 h à 110 °C. Ce chauffage élimine l'oxhydryle OH (3430 cm^{-1}) dû à la présence de molécules d'eau, tout en conservant les OH liés aux silicates et cations métalliques. La présence de sel n'est pas gênante dans la gamme de fréquence 600-4000 cm^{-1} où il est transparent ; entre 200-600 cm^{-1}, il montre une absorption linéaire provoquant un abaissement de la ligne de base.
Le quartz, les sulfates et la calcite sont facilement identifiables, tandis que les tendances (ferrifère et/ou manganésifère) des carbonates authigènes sont détectées. Les sulfures n'absorbent pas dans les fréquences infrarouges, sauf pour la pyrite et la marcassite. Les oxy-hydroxydes de fer cristallisés sont identifiés, et leur degré d'hydratation peut être approché (distinction entre goethite et limonite). Les oxy-hydroxydes amorphes sont repérés, mais le faible nombre de leurs bandes d'absorption (larges et mal définies) ne permet pas de juger de leur état de cristallinité. Les silicates amorphes et les familles argileuses glauconie-smectites sont reconnus. Par contre, il n'a pas été possible de différencier un sédiment constitué de silicates amorphes dont une partie est cristallisée d'un autre sédiment constitué d'un mélange de glauconie et de silicates amorphes.
Pour des raisons techniques, l'analyse IR n'a pu se faire sur les échantillons de la carotte MD 81388.

L'ANALYSE DIFFRACTOMÉTRIQUE
(Diffractomètre Siemens D 501)

Des diagrammes ont été effectués sur des poudres de l'échantillon brut dessalé. La phase argileuse a été étudiée sur agrégats orientés à l'état brut, glycolé et chauffé (500 °C), selon la méthode préconisée par le Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie de Lille (Holtzapffel 1985). Des diagrammes types ont été établis à partir des niveaux monocristallins et/ou présentant le minimum de phases minérales de manière à établir des téférences pour les niveaux (nombreux) constitués d'un important mélange minéralogique. Ces références ont été comparées à celles établies sur les mêmes échantillons par l'analyse infrarouge.

LES OBSERVATIONS AU MEB

La fraction supérieure à 20 µm a été observée sur des préparations métallisées à l'or-palladium (MEB JSM 35C). La sonde X attelée (ORTEC

syst 5000) a permis de déterminer la composition chimique de l'objet observé.

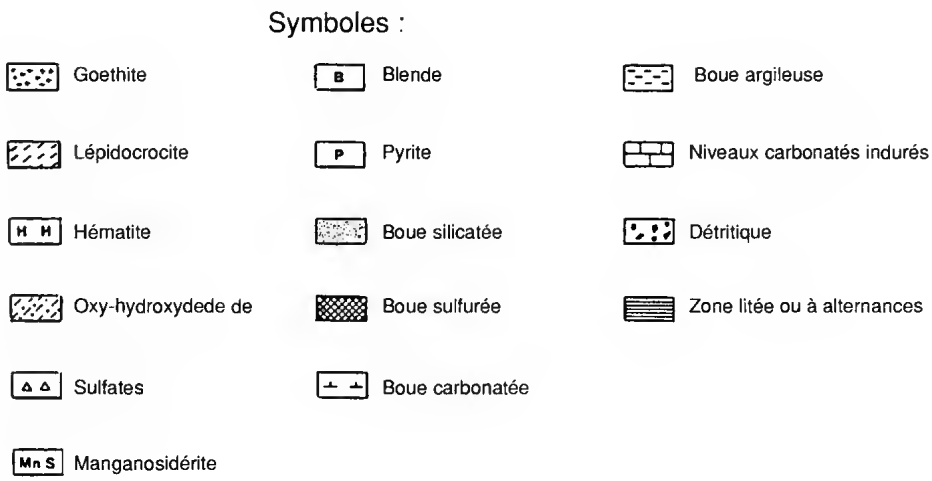
LES OBSERVATIONS OPTIQUES

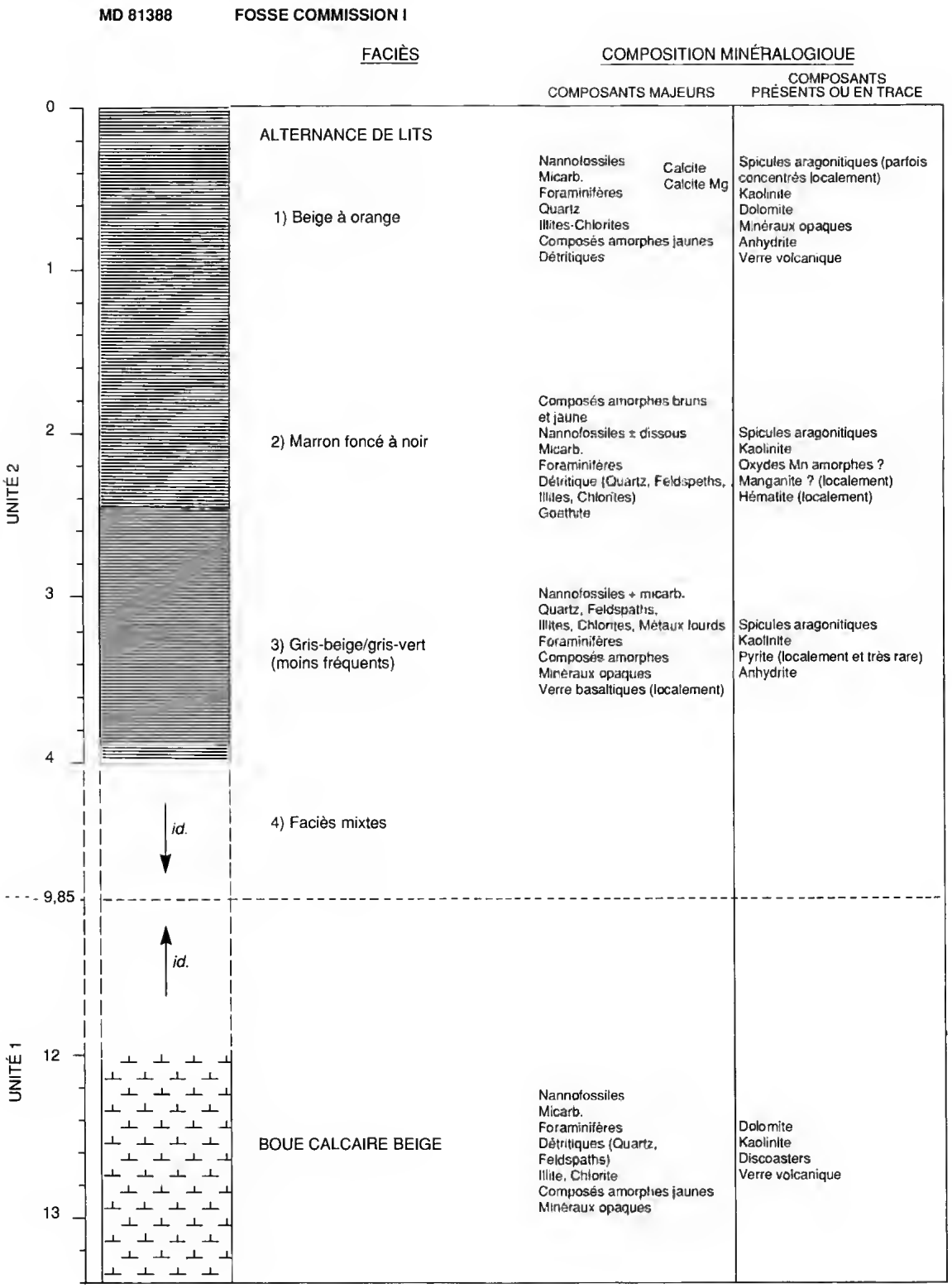
Des frottis ont été confectionnés à partir des différents faciès caractéristiques rencontrés. Leur observation au microscope optique (sédiment brut et résidus d'attaque HCl et HNO_3), ainsi que les informations fournies parallèlement par les analyses infrarouge et RX, ont servi à l'identification des phases minérales (dont la taille est supérieure à 5 µm) et de leur comportement aux attaques acides. Ces lames de référence ont permis d'étendre les observations optiques à l'ensemble des unités et à limiter au maximum les analyses complémentaires.
La fraction supérieure à 20 µm a été observée à la loupe binoculaire, en complément des observations faites au MEB.

ANNEXE 3

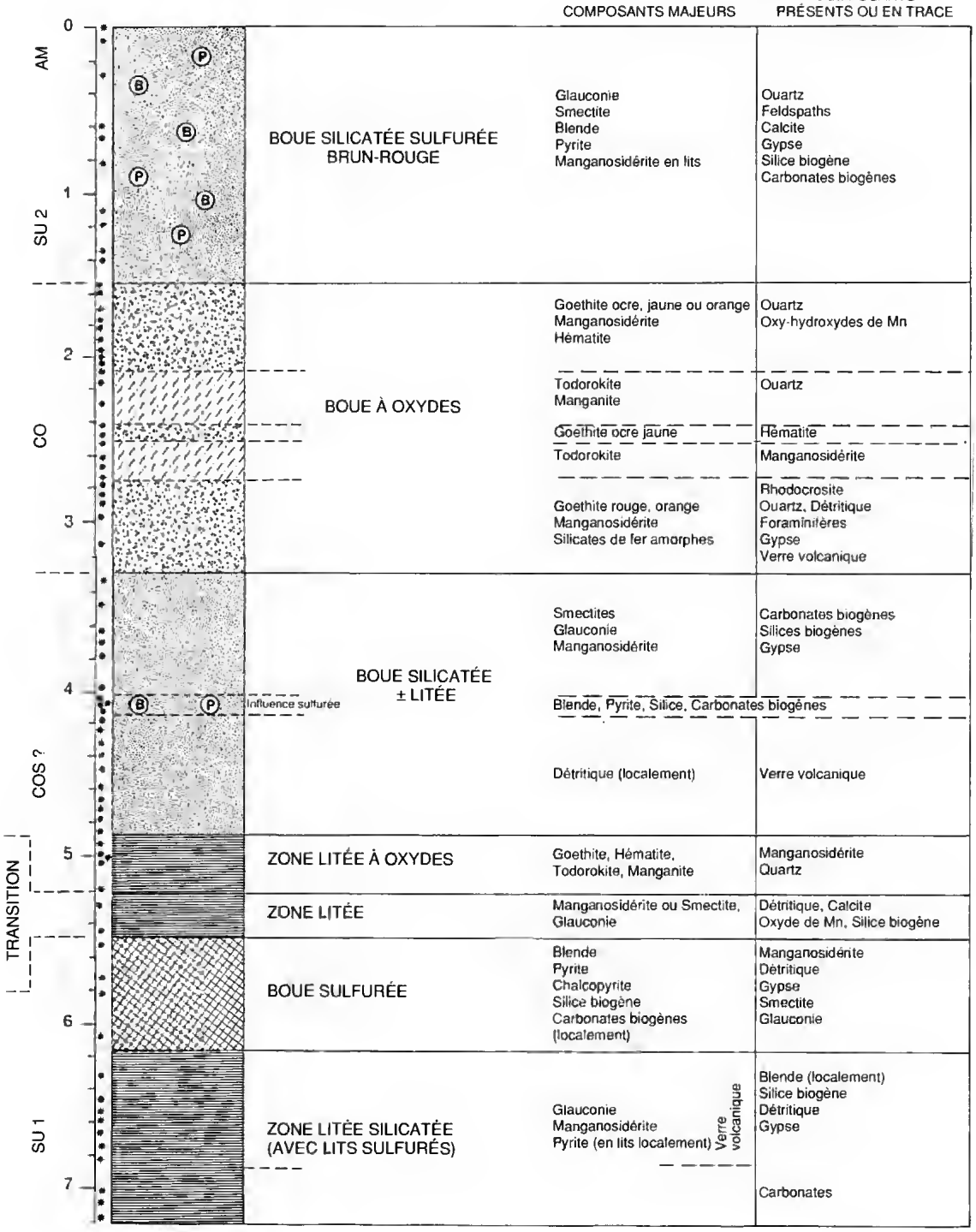
« LOGS » LITHOSTRATIGRAPHIQUES DES CAROTTES ÉTUDIÉES

En marge de ces « logs » (fosse Atlantis II) figure la correspondance avec la zonation établie par Backer & Richter (1973).

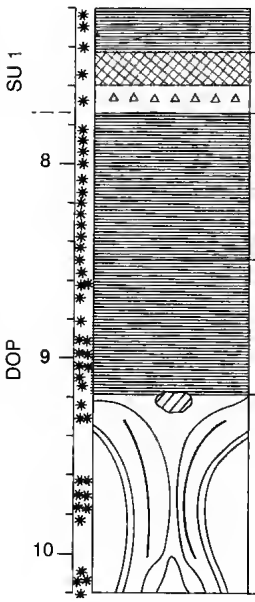



MD 81388
FOSSE COMMISSION I
FACIÈS
COMPOSITION MINÉRALOGIOUE
COMPOSANTS MAJEURS
COMPOSANTS PRÉSENTS OU EN TRACE
0
1
2
3
4
9,85
12
13
UNITÉ 2
UNITÉ 1
ALTERNANCE DE LITS
1) Beige à orange
Nannofossiles
Micarb.
Foraminifères
Quartz
Illites-Chlorites
Composés amorphes jaunes
Détritiques
Calcite
Calcite Mg
Spicules aragonitiques (parfois concentrés localement)
Kaolinite
Dolomite
Minéraux opaques
Anhydrite
Verre volcanique
2) Marron foncé à noir
Composés amorphes bruns et jaune
Nannofossiles ± dissous
Micarb.
Foraminifères
Détritique (Quartz, Feldspaths, Illites, Chlorites)
Goethite
Spicules aragonitiques
Kaolinite
Oxydes Mn amorphes ?
Manganite ? (localement)
Hématite (localement)
3) Gris-beige/gris-vert (moins fréquents)
Nannofossiles + micarb.
Quartz, Feldspaths,
Illites, Chlorites, Métaux lourds
Foraminifères
Composés amorphes
Minéraux opaques
Verre basaltiques (localement)
Spicules aragonitiques
Kaolinite
Pyrite (localement et très rare)
Anhydrite
4) Faciès mixtes
id.
id.
BOUE CALCAIRE BEIGE
Nannofossiles
Micarb.
Foraminifères
Détritiques (Quartz, Feldspaths)
Illite, Chlorite
Composés amorphes jaunes
Minéraux opaques
Dolomite
Kaolinite
Discoasters
Verre volcanique

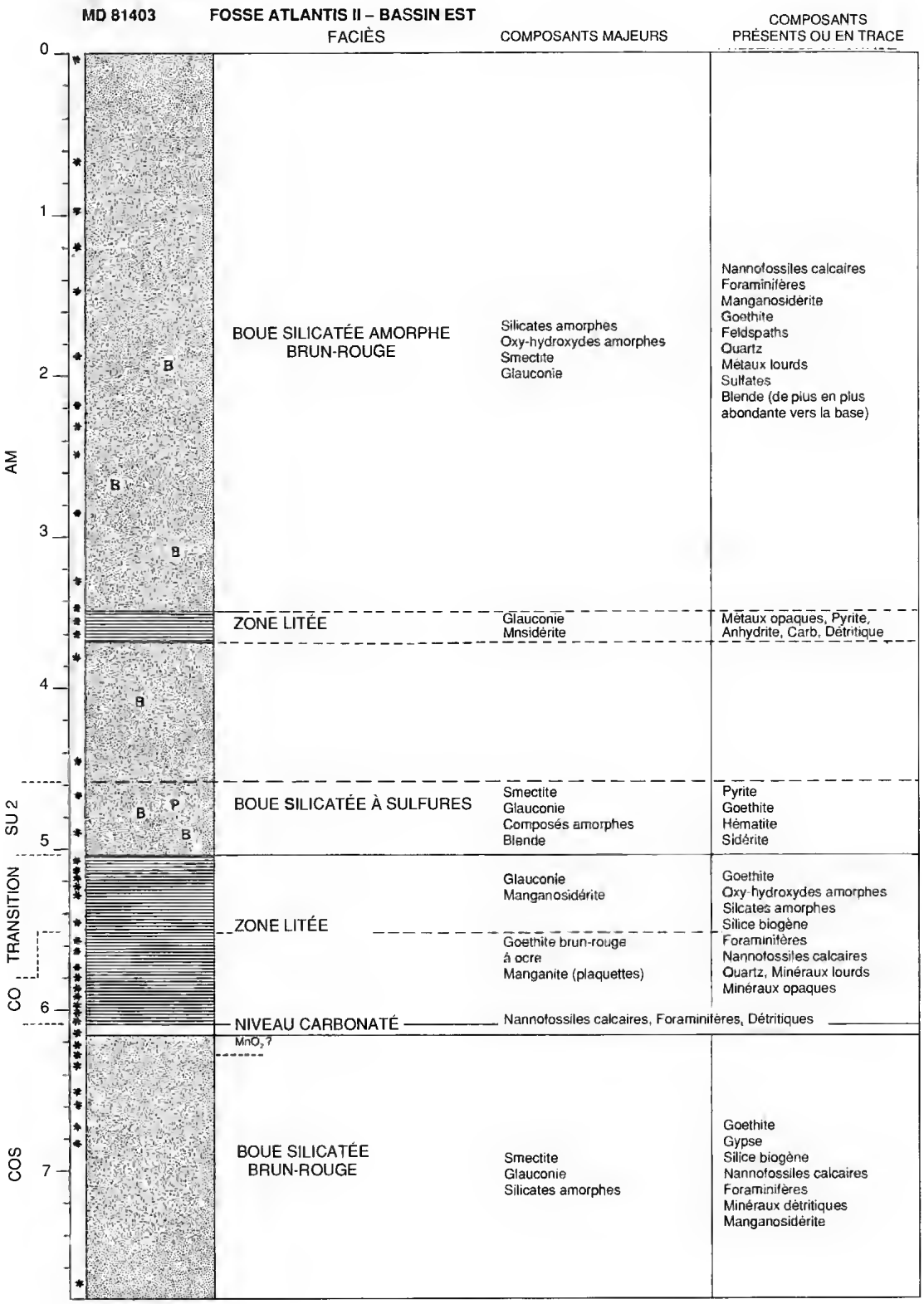
MD 81399 FOSSE ATLANTIS II – BASSIN OUEST



MD 81399 (suite)



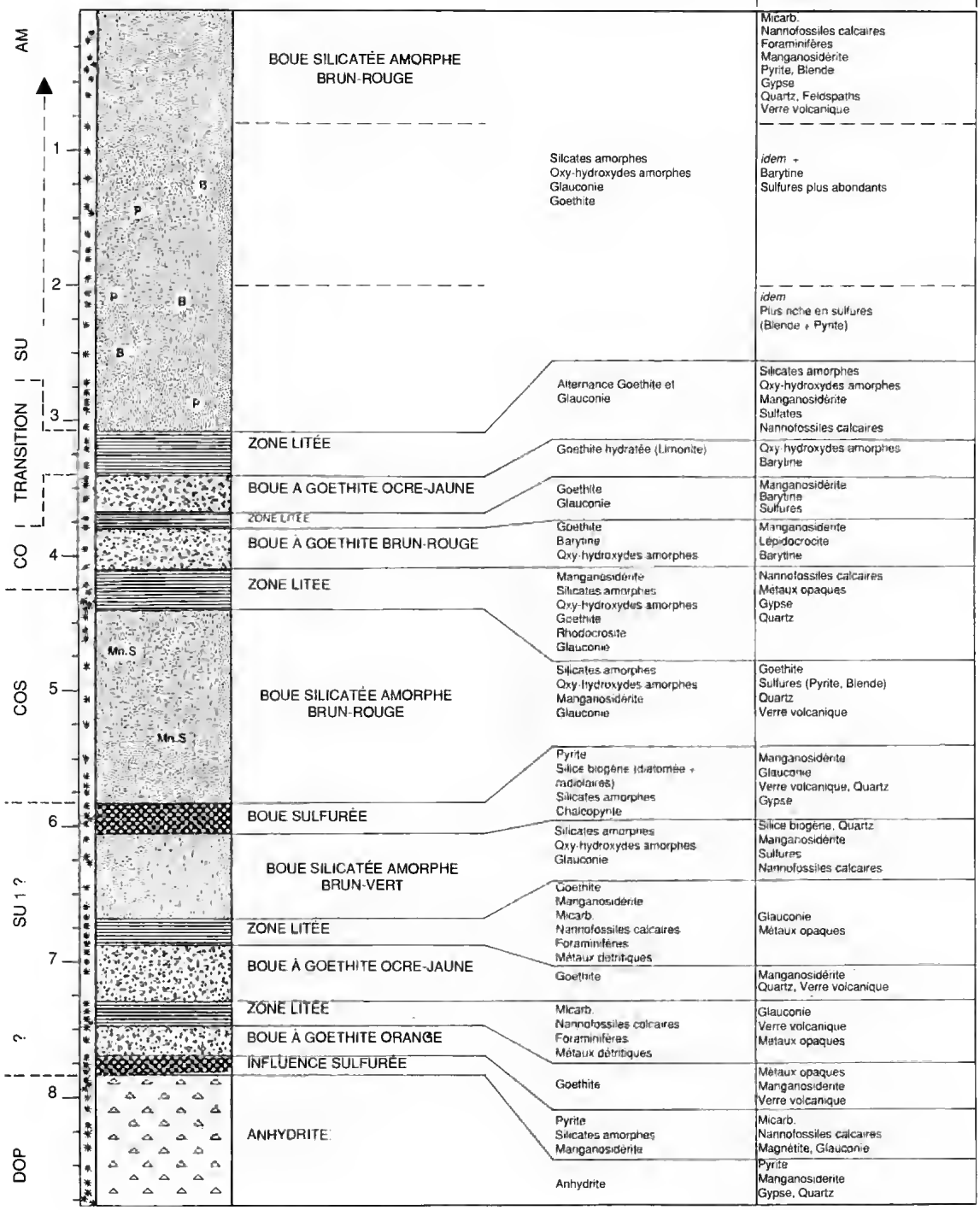
FACIÈS	COMPOSITION MINÉRALOGIQUE	
	COMPOSANTS MAJEURS	COMPOSANTS PRÉSENTS OU EN TRACE
BOUE SULFURÉE	Blende, Pyrite, Chalcopyrite, Silice biogène	
	Pyrite, Gypse, Mnsidérite	
BOUE CARBONATÉE LITÉE À OXYDES	Goethite Carbonates biogènes Manganosidérite Quartz Pyrite (dans les lits noirs)	Détritique Composés amorphes Glauconie Argiles détritiques
BOUE CARBONATÉE LITÉE	Lèpidocrocite (dans les lits orange) Carbonates biogènes Détritique Pyrite (dans les lits noirs) Calcite Mg (localement)	Pyrite Argiles détritiques Goethite
BLOC DE BASALTE STRUCTURES VERTICALES DITES DE « CHEMINÉE »		


MD 81403
FOSSE ATLANTIS II – BASSIN EST
FACIÈS
COMPOSANTS MAJEURS
COMPOSANTS PRÉSENTS OU EN TRACE
0
1
2
3
4
5
6
7
AM
SU 2
TRANSITION
CO
COS
B
P
BOUE SILICATÉE AMORPHE BRUN-ROUGE
Silicates amorphes
Oxy-hydroxydes amorphes
Smectite
Glauconie
Nannofossiles calcaires
Foraminifères
Manganosidérite
Goethite
Feldspaths
Quartz
Métaux lourds
Sulfates
Blende (de plus en plus abondante vers la base)
ZONE LITÉE
Glauconie
Mnsidérite
Métaux opaques, Pyrite, Anhydrite, Carb. Détritique
BOUE SILICATÉE À SULFURES
Smectite
Glauconie
Composés amorphes
Blende
Pyrite
Goethite
Hématite
Sidérite
ZONE LITÉE
Glauconie
Manganosidérite
Goethite brun-rouge à ocre
Manganite (plaquettes)
Goethite
Oxy-hydroxydes amorphes
Silicates amorphes
Silice biogène
Foraminifères
Nannofossiles calcaires
Quartz, Minéraux lourds
Minéraux opaques
NIVEAU CARBONATÉ
Nannofossiles calcaires, Foraminifères, Détritiques
MnO_2 ?
BOUE SILICATÉE BRUN-ROUGE
Smectite
Glauconie
Silicates amorphes
Goethite
Gypse
Silice biogène
Nannofossiles calcaires
Foraminifères
Minéraux détritiques
Manganosidérite

MD 81403 (suite)

8		Mns Mns — LIT À MANGANOSIDÉRITE		
SU 1		BOUE SULFURÉE	Pyrite Blende Silice biogène (vers la base) Manganosidérite (en plaquettes) Chalcopyrite	Nannofossiles calcaires Foraminifères Silicates amorphes Glauconie Minéraux détritiques
9				
TRANSITION		ALTERNANCE DE BOUES SILICATÉES ET DE BOUES À SULFURES (VERS LA BASE)	Plus riche en goethite Smectite Glauconie Silicates amorphes Blende Pyrite	Manganosidérite Gypse Quartz, mx détritiques Silice biogène (dans niveaux sulfurés) Goethite Micarb., Foraminifères Chalcopyrite
10		ZONE LITÉE	Goethite Organismes calcaires	Silicates amorphes Quartz, mx détritiques
11		BOUE À GOETHITE OCRE-JAUNE	Goethite Lépidocrocite	Glauconie Quartz Micarbonates Nannofossiles calcaires
		ZONE LITÉE	Pyrite Goethite Lits carbonatés	Smectite Silicates amorphes Glauconie, Quartz
12				
DOP		ALTERNANCE DE BOUES À GOETHITE (ORANGE OU OCRE) ET DE BOUES CARBONATÉES	Goethite Micarbonates Nannofossiles calcaires Calcite magnésienne	Silicates amorphes Quartz Verre volcanique Minéraux détritiques Calcite Kaolinite Illite Minéraux opaques Hématite
13				
14				
15		BOUE CALCAIRE ORANGE À COCCOLITHES ET FORAMINIFÈRES BLOC DE BASALTE	Calcite magnésienne Silicates amorphes	Quartz Minéraux détritiques Illite Kaolinite Minéraux opaques Smectite Rhodocrosite
15,55				

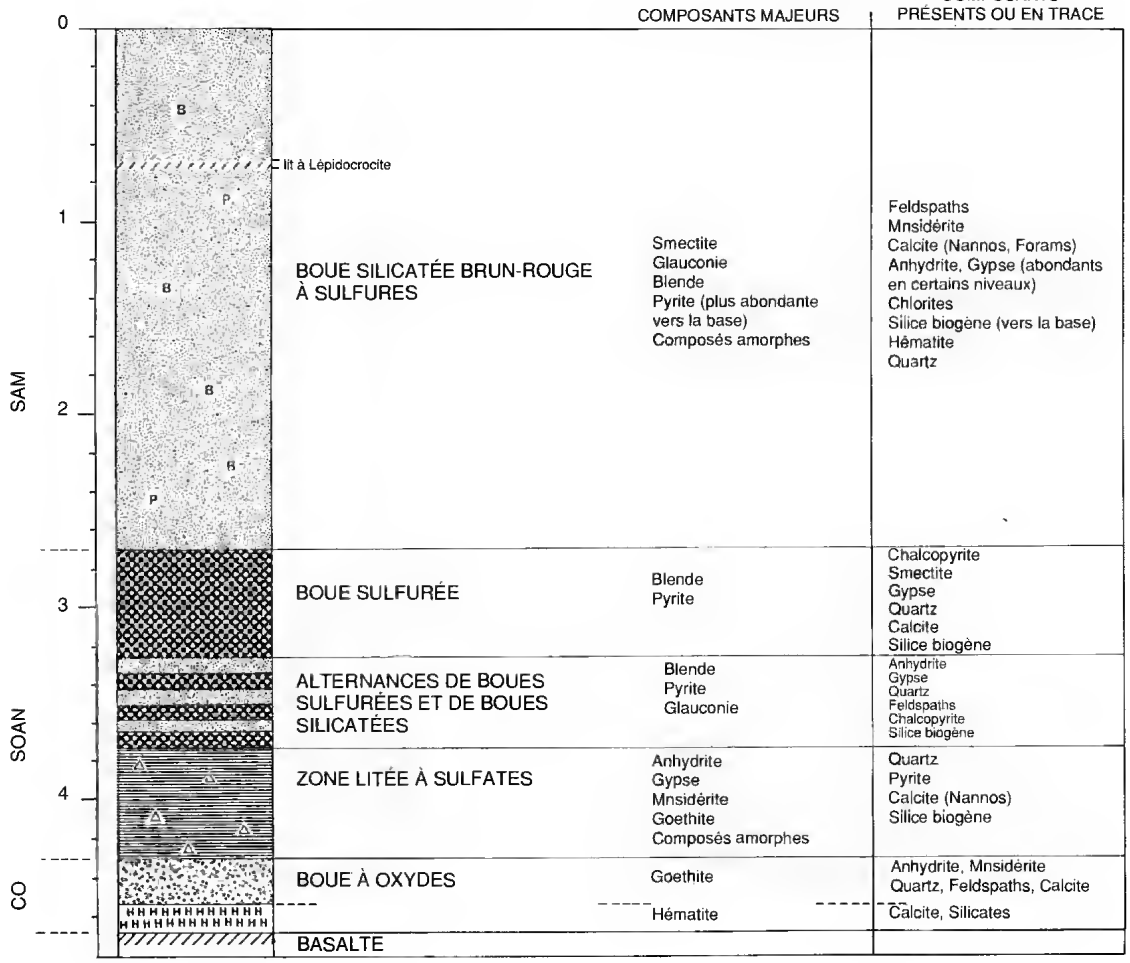
MD 81404 **FOSSE ATLANTIS II – NORD PASSAGE**

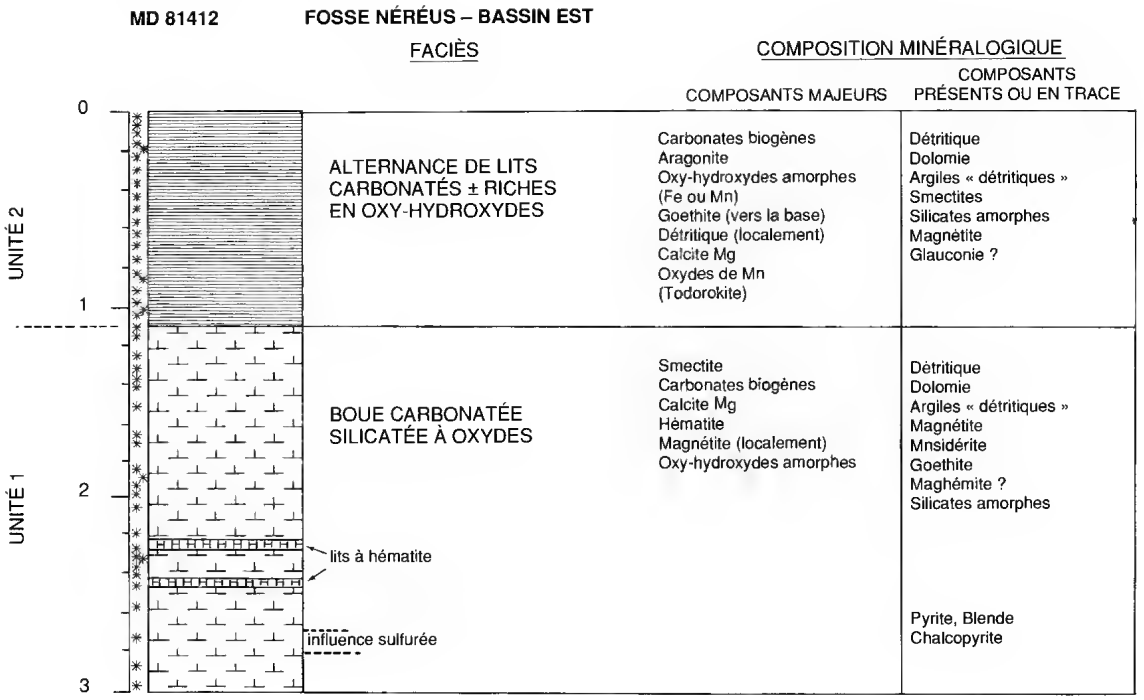


MD 81408 BASSIN DE WANDO

		FACIÈS	COMPOSITION MINÉRALOGIQUE: COMPOSANTS MAJEURS	COMPOSITION MINÉRALOGIQUE: COMPOSANTS PRÉSENTS OU EN TRACE
UNITÉ 5	0	NIVEAU INDURÉ	Aragonite	Calcite, Goethite, Détritique
		ZONE LITÉE (À OXYDES) HÉTÉROGÈNE DE Mn.	Manganite, Todorokite Calcite (Nannos, Forams) Glauconie, Smectite	Composés amorphes Détritiques, Goethite Sulfates
UNITÉ 4	1	ALTERNANCE DE BOUES ORANGE À GOETHITE ET DE NIVEAUX CARBONATÉS ± INDURÉS	Goethite (bien cristallisée) Aragonite Calcite Mg Mn Sidérite Quartz	Mnsidérite, Composés amorphes Quartz Sidérite Dolomie Nannos, Forams Détritique Smectite Silicates Fer amorphe
UNITÉ 3	2	BOUE CARBONATÉE HOMOGÈNE BRUN-ORANGE	Calcite (Nanos, Micarb.) Calcite Mg Quartz Smectite	Aragonite Chlorites Illite Kaolinite Dolomie Goethite Forams
UNITÉ 2	3	ALTERNANCE COLORÉE DE BOUES CARBONATÉES ARGILO-DÉTRITIQUES	Calcite (Nannos, Micarb., Forams) Calcite Mg Quartz Détritique Illites	Composés amorphes Dolomie Aragonite Smectite Chlorites Goethite (niveaux orange)
		Influence sulfurée		Pyrite
	4			Hématite
UNITÉ 1	5	Influence sulfurée Lit volcano-détritique BLOC DE SERPENTINE	Calcite (Micarb., Nannos) Calcite Mg Smectite Hématite Oxydes de Mn (dans les zones brun foncé)	Quartz Détritique Pyrite (niveaux noirs) Forams Dolomie Illites Chlorites Composés amorphes Mnsidérite

MD 81409 **FOSSE ATLANTIS II – BASSIN SUD-OUEST**




MD 81412
FOSSE NÉRÉUS – BASSIN EST
FACIÈS
COMPOSITION MINÉRALOGIQUE
COMPOSANTS MAJEURS
COMPOSANTS PRÉSENTS OU EN TRACE
0
1
2
3
UNITÉ 2
UNITÉ 1
ALTERNANCE DE LITS CARBONATÉS ± RICHES EN OXY-HYDROXYDES
Carbonates biogènes
Aragonite
Oxy-hydroxydes amorphes
(Fe ou Mn)
Goethite (vers la base)
Détritique (localement)
Calcite Mg
Oxydes de Mn
(Todorokite)
Détritique
Dolomie
Argiles « détritiques »
Smectites
Silicates amorphes
Magnétite
Glauconie ?
BOUE CARBONATÉE SILICATÉE À OXYDES
Smectite
Carbonates biogènes
Calcite Mg
Hématite
Magnétite (localement)
Oxy-hydroxydes amorphes
Détritique
Dolomie
Argiles « détritiques »
Magnétite
Mnsidérite
Goethite
Maghémite ?
Silicates amorphes
lits à hématite
influence sulfurée
Pyrite, Blende
Chalcopyrite

ANNEXE 4

MESURES PHYSIQUES, TENEURS EN SELS ET $CaCO_3$

Niveau : profondeur en centimètres de l'échantillon dans la colonne sédimentaire.
% Eau : les pourcentages en eau sont exprimés par rapport au poids humide.
PP gr/cm^3 : poids de particules en gr/cm^3 (sédiment dessalé).
% sels : les pourcentages en sel sont exprimés par rapport au poids sec non dessalé.
tr : traces.
Porosité : elle est exprimée en pourcentage du volume humide.
% $CaCO_3$: les pourcentages en $CaCO_3$ sont exprimés par rapport au sédiment dessalé.

MD 81388 : Commission I.

Niveau	% Eau	PP gr/cm^3	% sels	Porosité	% $CaCO_3$
2	41,5	0,91	tr	65	28,8
7	51,4	0,73	tr	78	23,2
30	43,2	0,95	tr	73	30,8
54	45,0	0,83	tr	68	27,0
80	63,0	0,46	tr	78	34,3
119	58,4	0,58	tr	81	32,2
134	40,7	0,99	tr	68	37,9
146	61,5	0,49	tr	78	29,4
187	62,2	0,54	tr	87	
189	60,6	0,53	tr	81	38,4
214	50,1	0,80	tr	80	37,5
230	44,5	0,87	tr	70	40,7
236	39,7	0,97	tr	64	40,6
247	62,0	0,52	tr		39,9
251	43,9	0,90	tr	70	39,9
257	65,0	0,44	tr	81	38,3
261	46,4	0,82	tr	71	35,2
292	71,4	0,34	tr	84	31,8
315	48,5	0,77	tr	72	38,2
320	46,8	0,78	tr	69	35,2
325	39,2	0,94	tr	61	30,2
330	66,4	0,40	tr	66	38,9
373	46,4	0,84	tr	73	27,2
389	46,9	0,78	tr	69	44,1
409	45,6	0,83	tr	70	24,4
418	49,1	0,76	tr	73	15,2
426	36,5	1,21	tr	70	9,0
444	35,4		tr		48,2
450	46,4	0,85	tr	74	46,2
455	33,7		tr		51,3
467	57,1	0,63	tr	83	28,3
476	49,7	0,73	tr	73	35,9
506	44,9	0,85	tr	69	36,4
519	38,7	0,96	tr	60	35,8
535	52,7	0,62	tr	69	25,4
560	38,4	0,88	tr	55	33,4
577	56,6	0,62	tr	80	32,6
609	25,0	1,43	tr	48	12,0
623	48,3	0,81	tr	76	31,3
630	33,9	1,10	tr	56	14,3

Niveau	% Eau	PP gr/cm^3	% sels	Porosité	% $CaCO_3$
639	58,4	0,53	tr	75	11,4
646	29,0	1,23	tr	50	9,5
653	44,4	0,88	tr	71	40,3
664	52,6	0,66	tr	74	14,4
672	48,3	0,75	tr	70	16,5
677	29,5	1,25	tr	52	7,0
681	48,7	0,75	tr	71	44,3
684	47,0	0,84	tr	75	20,7
691	60,0	0,54	tr	80	16,3
694	42,5	0,94	tr	69	20,2
697	51,2		tr		12,8
704	39,5	0,99	tr	65	37,2
715	52,5		tr		9,5
730	49,4	0,73	tr	72	21,4
732	29,9		tr		13,9
734	48,5	0,79	tr	74	11,2
745	32,5		tr		15,5
746					30,6
751	39,4		tr		53,1
757	50,8	0,79	tr	81	29,9
763	41,9	0,93	tr	67	25,8
777	59,1	0,63	tr	92	18,5
792	30,3		tr		13,6
799	61,8	0,45	tr	74	9,7
816	47,3		tr		28,4
837	29,1		tr		21,0
845	57,8	0,59	tr	80	24,6
851	36,1		tr		38,4
857	59,0	0,59	tr	85	19,1
871					29,9
878	47,6	0,76	tr	69	31,8
890	56,0	0,61	tr	78	23,8
893	61,9	0,50	tr	80	21,3
900	31,6				22,7
909	38,9		tr		15,3
919	63,9	0,80	tr		5,2
922	48,8	0,75	tr	71	18,4
924	39,7	0,99	tr	64	23,3
929	57,3	0,59	tr	79	
953	29,1	1,44	tr	59	19,1
956	43,6				44,1
962	40,0	1,16	tr	77	49,2
969	36,0	1,15	tr	65	22,2
984	39,8		tr		28,0
987	40,9	0,98	tr	67	44,5
1021	41,5	0,92	tr	66	44,9
1106	41,4	0,95	tr	67	43,6
1131	42,1	0,89			
1176	40,2	0,99	tr	66	41,8
1257	39,4	0,97	tr	63	41,4
1337	39,6	1,01	tr	66	42,0

MD 81399 : Atlantis II, bassin ouest.

Zonation Backer & Richter (1973)	Niveau	% Eau	PP gr/cm^3	% sels	Porosité	> 20 µm	% $CaCO_3$
AM	8	70,7	0,10	76,4	99		tr
	30	71,8	0,08	79,4	95	5,3	tr
	82	67,1			88		tr
	112	62,9					tr
	116	61,9		58,1		10,8	tr
SU 2	138	68,2					0
	142	67,7		71,0			0
CO	172	64,6	0,18	61,4	83	tr	tr
	180	64,4	0,18	61,2	87		0
	187	60,6	0,26	52,4	81	0,2	0
	203	62,5	0,22	56,7	83		0
	223	61,2	0,28	54,0	96		0
	225					42,3	0
	261	59,3	0,31	49,7	86	11,2	0
	275					1,6	tr
	280	56,5	0,36	44,2	87		tr
	317	64,8	0,18	64,1	89	4,5	0
COS ?	371	60,6			81		0
	380	66,9	0,14	70,3	93		tr
	407	60,9	0,29	53,7	77		0
	410	72,3		81,6			tr
	420	68,9	0,08	79,4	85		0
	450	68,6	0,11	75,1	97		tr
	458	65,1	0,14	64,1	83		0
	482	69,4	0,07	81,1	90		tr
	496	66,0	0,13	69,4	86		0
	500	61,8		58,7			0
	502	66,0	0,12	69,2	75	0,8	tr
TRANSITION	544	54,3	0,35	44,3	77		67,2
SU 1	552	56,6	0,60		85	8,4	
	567	48,4	0,23	69,0	77	18,8	tr
	599	57,1	0,28	54,0	81	13,4	tr
	645	61,3	0,25	57,7	87		0
	654	67,6	0,11	75,9	94		tr
	682	65,9	0,05	87,7	83		tr
	709	69,1	0,08	80,3	93		0
	738	67,5	0,12	73,4	94		0
	752	52,7	0,43	40,7	78	7,6	tr
DOP	787	56,3	0,35	44,7	79	8,2	31,5
	805	44,9	0,61	30,2	75	19,3	6,8
	812	52,5	0,50	40,9	89	1,9	0
	828	50,0	0,55	35,4	84		tr
	840	50,4	0,50	39,5	86	9,7	tr
	863	33,8	0,75	36,4	63	22,9	70,7
	891	34,4	0,94	18,6	60	16,4	48,3
	893	42,4	0,69	27,3	70		15,4
	894	32,9		18,1			65,2
	895	33,2		19,9			21,4
	897	34,2		19,3			
	900	55,3	0,37	44,2	84		tr
	944	49,7	0,51	35,4	79		
	974	30,0		33,4		21,8	70,8

MD 81403 : Atlantis II, bassin est.

Zonation Backer & Richter (1973)	Niveau	% Eau	PP gr/cm^3	% sels	Porosité	% $CaCO_3$
AM	61	69,9	0,08	79,5	91	tr
	122	70,4	0,06	83,9	89	0
	147	70,5			87	0
	192	69,7	0,08	80,8	96	tr
	286	70,0	0,06	83,1	86	tr
	342	69,4	0,06	83,2	85	tr
SU 2	451	68,8			89	tr
	487	69,8	0,09	78,3	92	0
TRANSITION	514	69,1			95	tr
	555	68,1		72,6		tr
CO	569	58,1			86	tr
	598	68,3			87	0,0
	609	66,1		70,0		
	622	52,0	0,41	36,2	65	21,9
COS	635	64,3			85	tr
	648	71,4			80	tr
	781	70,9	0,06	85,7	99	0
	826	37,2	0,68	20,7	69	0
SU 1	842	50,2	0,32	37,8	85	4,9
	885	58,7	0,24	51,2	86	15,2
	907	55,3			68	tr
	937	55,4			72	tr
TRANSITION	965	66,3	0,14	66,7	79	0
	984	65,3			84	0
	1052	51,8	0,45	40,0	84	tr
	1109	61,8		55,1		0,0
	1125	59,2		51,4		tr
DOP	1157	45,2	0,61	30,5	73	18,2
	1177	47,5	0,53	33,5	80	tr
	1200	62,7	0,22	57,5	83	tr
	1280	62,5	0,21	58,5	89	tr
	1355	36,1	0,90	19,6	62	61,3
	1368	48,0			68	
	1421	47,4	0,55	31,0	71	21,6
	1433	35,0	0,86	18,7	56	69,1
	1458	62,7	0,22	55,8	81	tr
	1467	31,8			45	
	1544	31,9	1,04	13,5	55	51,6

MD 81404 : Atlantis II, Nord Passage.

Zonation Backer & Richter (1973)	Niveau	% Eau	PP gr/cm^3	% sels	Porosité	> 20 µm	% $CaCO_3$
AM	20	68,0			75		0
	40	69,0	0,06	80,8	74	10,7	0
	60	68,8	0,08	78,0	74		0
	80	69,1	0,07	80,1	71		tr
	100	69,1	0,07	80,1	76		tr
	120	68,9	0,07	79,1	73	11,4	tr
SU 2	140	69,3	0,06	80,6	72	11,4	tr
	210	69,1	0,07	80,8	73	8,6	tr
TRANSITION	278	68,5	0,06	77,7	68	2,6	0
	320	67,1	0,10	73,6	73	6,7	0
CO	350	65,8	0,13	69,3	77	0,4	0
	390	67,1	0,11	73,7	76	2,4	0
COS	435	64,8	0,13	69,4	75	15,2	0
	460	69,4	0,07	79,4	80	4,5	0
	480	69,8	0,06	80,3	73	9,0	0
	525	70,3	0,09	76,0	78	11,6	0
	560	70,2	0,07	81,4	86	17,1	0
SU 1	585	61,4	0,18	58,0	73	6,8	0
DOP	700	56,9	0,30	47,0	72	0,6	0
	825	18,3	1,42	11,0	35	84,4	0

MD 81408 : bassin de Wando.

Séquence	Niveau	% Eau	PP gr/cm^3	% sels	Porosité	> 20 µm	% $CaCO_3$
UNITÉ 5	0	20,6		tr			91,5
	10	68,8	0,21	31,9	76		tr
	26	79,2	0,10	55,6	79		tr
UNITÉ 4	53	77,5	0,13	50,1	90		tr
	84	69,4	0,24	33,8	81		tr
	95	34,4		7,8			46,8
	121	29,4		6,2		26,6	70,9
UNITÉ 3	197	38,6	0,93	9,5	62	9,7	60,3
UNITÉ 2	281	40,8	0,85	11,0	66	65,3	48,5
	298	30,7		7,1			61,9
	311	35,0	1,02	8,5	59	28,9	56,4
	329	33,5	1,09	8,0	60	6,5	68,2
	342	30,9	1,23	7,1	56	3,5	72,2
	353	54,9	0,46	20,3	69	25,7	42,0
	393	27,7	0,97	6,1	62	1,3	67,9
UNITÉ 1	434	56,5	0,50	19,7	78	14,3	38,3
	448	53,5	0,51	17,1	65		tr
	480	56,8	0,48	19,8	75	15,7	29,5
	489	45,9	0,74	12,9	68	12,3	51,0
	499	43,5	0,72	11,8	64	37,8	40,5
	527	53,9		18,4		44,9	48,2

MD 81409 : Atlantis II, bassin sud-ouest.

Zonation Backer & Richter (1973)	Niveau	% Eau	PP gr/cm^3	% sels	Porosité	> 20 µm	% $CaCO_3$
SAM	10	71,4	0,08	79,5	90	4,6	tr
	30	70,5	0,08	78,7	86	5,5	tr
	64	72,8	0,06	82,2	85		0
	68	70,4		78,4			0
	105	71,3	0,08	79,1	84	9,3	tr
	132	69,8	0,08	78,9	86	10,5	tr
	186	69,6	0,07	79,7	79	7,0	0
	220	70,9	0,06	84,5	87	tr	0
	240	69,5	0,07	80,8	92		0
SOAN	255	70,1	0,08	79,5	87	10,1	0
	295	68,9	0,08	78,3	82	9,0	tr
	320	56,6	0,31	47,0	73	7,3	tr
	338	62,4	0,22	59,1	83		0
	356	62,7	0,18	56,7	66		0
	388	59,3	0,25	56,3	77	13,5	tr
	402	38,7	0,66	33,4	62		0
	425	62,6	0,17	65,2	82	11,9	tr
CO	440	65,8	0,15	66,9	83	0,3	tr
	488	55,5	0,14	79,2	75	14,2	tr

MD 81412 : Néréus.

Séquence	Niveau	% Eau	PP gr/cm^3	% sels	Porosité	> 20 µm	% $CaCO_3$
UNITÉ 2	5	42,1	0,92	tr	71	2,7	65,4
	19	65,3	0,48	10,4	84	11,7	47,4
	27					77,1	
	31	62,9	0,48	8,8	89		
	42	53,6	0,69	6,7	57	25,8	36,2
	63	21,0		tr			
	78	67,5	0,44	11,4	92	2,2	17,4
	92	43,0	0,92	tr	68	9,2	64,2
	107	59,6	0,41	9,0	83	6,8	
UNITÉ 1	115	54,0	0,65	9,1	82	10,2	48,0
	140	53,9	0,68	8,3	76	11,7	45,9
	156	73,3	0,31	22,8	99	11,7	19,6
	187	57,6	0,64	10,4	95	9,2	34,1
	220	61,9	0,50	9,6	89	1,3	
	225	36,9	1,22	6,0	77	1,3	
	230	44,9	0,86	4,1	73		60,2
	244	66,8	0,40	20,6	93		
	260	47,7	0,78	5,6	70	5,4	47,6
	272	39,1	1,18	tr	73	2,5	
	296	44,5	0,82	9,9	72	16,5	70,4

ANNEXE 5

MESURES GÉOCHIMIQUES, EXPRIMÉES PAR RAPPORT AU POIDS SEC DESSALÉ

Niveau : profondeur en centimètres de l'échantillon dans la colonne sédimentaire.
Ins total : pourcentage pondéral du résidu des deux attaques acides.
Cu total (ppm) et Fe total (%) sont les teneurs en cuivre et fer mis en solution par les deux attaques acides.
Mn (ppm) et Zn (ppm) sont les teneurs en manganèse et en zinc entièrement solubilisés par la première attaque chlorhydrique.
Cu HNO_3 (ppm) et Fe HNO_3 (%) sont les teneurs en cuivre et fer solubilisés par la deuxième attaque nitrique.
tr : traces.

MD 81388 : Commission I.

Séquence	Niveau	Ins total	Cu total	Fe total	Mn	Zn
UNITÉ 2	2	46,5	76	4,5	13415	532
	7	48,2	84	6,2	22046	754
	30	43,9	tr	4,9	5314	tr
	80	25,2	94	9,5	33992	1569
	134	50,4	tr	3,5	7203	tr
	146	28,3	117	9,0	49700	1657
	189	22,9	100	8,9	48617	1486
	230	33,6	tr	5,0	9734	tr
	236	38,9	tr	2,9	5919	624
	257	22,6	92	8,8	42138	1400
	292	10,8	165	13,9	80890	2750
	325	50,9	tr	2,7	2590	tr
	330	6,3	168	13,8	93960	3188
	373	38,9	tr	9,5	26070	978
	426	72,3	tr	3,2	tr	tr
	444	35,9	tr	3,1	16564	488
	450	26,4	75	6,8	12197	651
	455	24,0	tr	3,6	8897	tr
	467	23,4	70	11,7	98681	2277
	519	41,9	tr	4,4	8123	406
	577	29,2	86	9,8	36942	1609
	609	73,1	tr	3,4	5814	tr
	630	66,4	tr	3,1	2822	1006
	639	39,4	109	10,5	45666	1588
	664	48,3	101	8,9	28321	1047
	681	30,9	73	5,3	60703	813
	697	49,2	124	8,1	35911	1077
	715	50,6	123	8,1	53996	1289
	730	43,9	175	15,3	103887	3167
	751	27,4	tr	3,0	1153	3062
	777	33,3	tr	6,6	18022	802
	792	71,2	179	7,2	117017	1933
	799	26,1	87	12,6	159661	2976
	845	33,6	tr	12,2	14918	2102
	851	42,4	tr	3,2	20504	2179
	890	28,9	90	10,1	73219	3591
	909	61,0	125	3,8	1280	3906
	919	9,8	126	19,5	201811	5352
	984	45,4	tr	4,7	4520	tr
UNITÉ 1	987	32,9	tr	4,6	7790	tr
	1106	33,8	tr	4,5	7411	tr
	1337	34,7	tr	4,6	7106	tr

MD 81399 : Atlantis II, bassin ouest.

Zonation Backer & Richter (1973)	Niveau	Ins total	Cu total	Cu HNO_3	Fe total	Fe HNO_3	Mn	Zn
AM	8	30,8	6407	536	33,2	1,9	8969	53855
	30	31,5	7486	422	33,4	1,7	2401	48761
SU 2	116	40,1	21328	15942	24,6	12,0	7859	61491
	142	46,5	530	117	31,8	2,2	2593	5450
CO	172	3,5	315	0	59,2	tr	2103	3229
	180	6,0	243	0	58,3	tr	51516	4139
	187	tr	287	tr	60,3	tr	8996	4822
	203	2,8	tr	tr	61,2	0,6	6035	3866
	223	7,1	720	tr	11,6	tr	414839	1587
	261	tr	1088	tr	22,8	tr	370190	2355
	280	6,1	222	tr	57,0	tr	33044	1416
	317	11,0	1424	tr	53,3	tr	16515	3140
CO ?	380	20,6	1186	tr	60,3	tr	2061	3000
	407	50,3	1844	474	18,9	5,6	19084	22624
	410	35,7	976	tr	28,2	0,9	29568	3031
	420	20,3	2708	136	33,2	tr	59741	6259
	450	27,6	763	tr	39,9	0,7	30953	3280
	458	18,5	1453	tr	48,3	tr	20909	3613
	482	34,9	3280	172	18,7	0,5	72732	1640
	496	3,7	143	0	68,5	0	10390	1740
	500	tr	691	0	10,1	0	508922	1219
	502	tr	556	0	71,4	0	4398	2238
TRANSITION	544	11,6	688	tr	37,5	tr	59848	4919
SU 1	552	37,5	23199	17566	14,7	8,7	4361	136054
	567	33,5	34082	26309	17,7	6,1	12197	81617
	599	38,2	38591	26051	22,0	15,7	tr	92171
	645	27,0	827	tr	34,1	tr	33202	2678
	654	46,4	16451	4246	26,5	13,9	tr	1321
	682	19,1	3927	1187	35,9	2,0	tr	1370
	709	61,3	31916	1070	18,4	2,6	tr	1220
	752	31,0	25576	23893	13,0	7,1	4629	215635
DOP	787	28,8	tr	tr	24,3	tr	45487	2454
	805	39,4	231	tr	13,3	8,9	2316	3139
	812	9,5	233	153	45,5	5,1	7321	2021
	828	4,6	tr	tr	50,0	tr	4335	1561
	840	17,1	129	tr	51,4	tr	tr	842
	863	27,3	tr	tr	6,5	tr	4470	420
	891	28,8	tr	0	5,4	tr	5759	439
	893	52,4	604	155	9,6	1,0	tr	784
	894	20,9	tr	tr	4,0	0,4	4497	899
	895	46,1	114	77	14,8	10,3	2340	4241
	897	40,8	1140	85	5,3	2,3	3164	1091
	900	13,5	tr	0	43,7	tr	2843	1579
	944	18,0	105	0	28,5	tr	4575	915
	974	27,6	tr	0	4,8	tr	10092	329

MD 81403 : Atlantis II, bassin est.

Zonation Backer & Richter (1973)	Niveau	Ins total	Cu total	Cu HNO_3	Fe total	Fe HNO_3	Mn	Zn
AM	61	28,4	4288	160	37,8	0,6	4445	24549
	122	29,7	2403	259	44,3	0,9	2327	5081
	192	30,4	7799	tr	34,5	tr	6415	23405
	286	33,0	4819	tr	31,3	tr	tr	13979
SU 2	342	37,9	6113	474	30,5	1,2	tr	21700
	487	37,4	9899	639	26,7	1,7	2741	69907
TRANSITION	555	27,1	676	0	36,4	0,5	28946	5144
CO	609	4,4	tr	tr	45,3	tr	47697	3910
	622	22,2	127	0	5,5	tr	144583	1585
COS	781	41,9	1065	tr	34,6	0,7	1673	2074
	826	10,8	409	tr	24,2	tr	86609	1667
SU 1	842	40,0	16928	16892	14,5	9,2	5156	124982
	885	44,2	761	122	14,3	0,9	14574	4474
TRANSITION	965	32,3	2612	357	36,2	1,4	tr	1569
	1052	26,8	22877	22779	14,9	5,4	10220	165780
	1109	3,8	242	tr	53,9	tr	tr	1408
	1125	13,6	133	tr	45,1	tr	tr	1421
DOP	1157	42,9	246	183	16,0	11,4	2862	2544
	1177	8,4	1186	168	42,8	1,1	5564	885
	1200	tr	tr	0	54,3	tr	tr	1612
	1280	tr	474	tr	54,0	tr	2065	2639
	1355	30,6	tr	0	3,7	tr	4264	tr
	1421	38,6	435	tr	13,9	tr	9168	486
	1433	24,6	tr	0	2,6	tr	4174	tr
	1458	tr	tr	0	51,2	tr	1930	564
	1544	34,9	tr	0	3,7	tr	2463	tr

MD 81404 : Atlantis II, Nord Passage.

Zonation Backer & Richter (1973)	Niveau	Ins total	Cu total	Cu HNO_3	Fe total	Fe HNO_3	Mn	Zn
AM	40	23,1	3148	249	41,0	0,8	5521	6695
	60	28,5	3702	174	36,3	0,6	9616	6738
	80	28,6	3718	174	35,9	0,5	6940	11074
	100	32,5	4645	104	29,6	0,4	5030	15720
	120	34,0	4342	tr	27,5	tr	4615	16111
SU 2	140	34,0	3519	305	28,2	0,5	4412	10226
	210	32,1	4868	353	23,8	1,6	3839	20589
TRANSITION	278	75,7	530	121	11,9	2,4	tr	1606
	320	22,3	2876	tr	39,8	0,3	15806	3787
CO	350	4,9	tr	0	52,8	tr	tr	4350
	390	9,5	251	tr	45,7	tr	7355	3727
COS	435	20,3	1515	tr	34,0	0,3	30727	2216
	460	48,0	5688	191	20,1	1,5	15913	2236
	480	24,1	713	tr	35,1	0,3	24407	1611
	525	30,3	2250	150	36,7	0,7	14851	2200
	560	48,4	762	tr	28,6	4,5	5066	2357
SU 1	585	48,9	18208	6546	20,6	15,2	3959	18135
DOP	700	tr	212	0	56,2	tr	tr	2372
	825	66,6	325	tr	tr	0,8	tr	tr

MD 81408 : bassin de Wando.

Séquence	Niveau	Ins total	Cu total	Cu HNO_3	Fe total	Fe HNO_3	Mn	Zn
UNITÉ 5	0	4,3	tr	0	tr	0	tr	tr
	10	17,2	185	0	5,4	tr	349601	8231
	26	40,8	963	tr	26,2	0,4	13166	1354
UNITÉ 4	53	tr	tr	0	56,7	0	4737	677
	84	tr	tr	0	57,2	tr	3391	3243
	95	15,2	tr	0	16,3	tr	17487	1050
	121	16,9	tr	0	tr	tr	3309	tr
UNITÉ 3	197	22,8	tr	0	5,9	tr	3368	tr
UNITÉ 2	281	30,2	tr	tr	9,0	tr	3020	tr
	298	20,2	107	tr	tr	tr	3623	404
	311	26,7	265	tr	6,1	0,3	11850	1262
	329	20,6	tr	0	4,2	tr	7335	409
	342	19,8	tr	0	tr	tr	3531	tr
	353	33,4	tr	0	8,1	0,3	3173	11390
	393	54,6	tr	0	tr	tr	6297	309
UNITÉ 1	434	22,5	254	tr	16,5	tr	48694	5497
	448	31,2	3830	112	12,2	tr	37684	13247
	480	13,8	796	tr	29,8	tr	38311	4933
	489	19,6	tr	0	12,3	tr	19670	1122
	499	17,9	tr	0	13,2	tr	49497	781
	527	24,7	544	104	18,7	tr	33112	2667

MD 81409 : Atlantis II, bassin sud-ouest.

Zonation Backer & Richter (1973)	Niveau	Ins total	Cu total	Cu HNO_3	Fe total	Fe HNO_3	Mn	Zn
SAM	10	23,0	8121	455	36,9	1,5	tr	22295
	30	23,4	8262	390	38,0	1,7	tr	24769
	64	41,1	6357	528	29,1	1,9	tr	7566
	68	23,4	905	0	42,7	0,4	tr	7637
	132	32,1	8943	530	23,0	1,9	3448	80046
	186	27,9	6127	429	31,8	1,8	13051	25549
	220	36,0	10637	639	27,5	2,9	tr	49023
	240	51,4	614	134	25,4	1,6	tr	3312
SOAN	255	37,7	10716	1138	25,9	4,8	tr	67397
	295	37,3	11391	1135	25,2	4,9	tr	54446
	320	28,8	19199	11756	11,0	6,9	tr	263364
	338	35,2	21563	9808	17,7	10,0	tr	154650
	356	73,6	1148	tr	10,0	1,1	tr	4102
	388	17,3	1523	183	35,1	0,6	18529	1639
	402	16,3	8812	1903	18,0	5,1	16292	4431
	425	11,2	4315	668	44,0	1,0	7655	946
CO	440	4,0	2739	0	66,3	tr	1180	965
	488	6,3	4772	303	70,5	tr	1959	893

MD 81412 : Néréus.

Séquence	Niveau	Ins total	Cu total	Cu HNO_3	Fe total	Fe HNO_3	Mn	Zn
UNITÉ 2	5	17,5	141	0	6,5	tr	15925	527
	19	7,6	155	0	19,1	tr	97800	5536
	42	37,6	tr	tr	6,8	2,6	11916	704
	63	3,4	tr	tr	2,8	tr	7003	tr
	78	6,8	221	0	44,2	tr	7176	1128
	92	24,4	tr	0	4,5	tr	11679	389
	107	17,7	760	tr	28,1	tr	10716	2778
UNITÉ 1	115	23,4	368	tr	10,2	tr	9006	234
	140	32,6	tr	tr	5,8	1,1	2698	663
	156	33,5	201	tr	21,8	1,6	3088	tr
	187	17,8	2280	tr	22,1	0,8	5370	tr
	225	tr	1240	0	65,6	tr	5921	tr
	244	12,4	tr	0	48,6	tr	3815	354
	260	16,1	4011	tr	15,7	1,0	6259	1486
	272	9,4	25092	268	37,1	2,9	3645	15288

ANNEXE 6

OBSERVATIONS AU MICROSCOPE OPTIQUE

Le niveau cumulé correspond à la cote en centimètres de l'échantillon dans la colonne sédimentaire. Les composants sont indiqués par ordre d'importance.

Nannos : nannofossiles calcaires ; (BC), bien conservés ; (MC), mal conservés.
Composant : TBC, très bien cristallisé ; BC, bien cristallisé ; MC, mal cristallisé.
Forams : foraminifères
Micarb : « Micarbonate ». Fraction fine (quelques µm) carbonatée d'origine indéterminable.
Mnsidérite : Manganosidérite.

MD 81388 : Commission I.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
2	Nannos, Micarb, Aragonite (baguettes), Forams, Détritique, Composés + ou – amorphes (globules bruns)	Composés amorphes
7	Nannos, Micarb, Aragonite (baguettes), Globules (MC), Détritique, Argiles	Forams
30	Nannos, Micarb, Aragonite (baguettes), Détritique, Argiles, Composés amorphes (globules jaunes), Forams	
51	Micarb, Forams, Nannos, Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Composés amorphes (globules jaunes), Argiles	Opaques
54	Nannos, Micarb, Aragonite (baguettes), Composés amorphes, Détritique, Forams, Argiles	Opaques
62	Globules bruns MC, Composés amorphes, Argiles, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes)	Détritique
80	Nannos (MC), Micarb, Aragonite (baguettes), Argiles, Globules bruns MC, Forams	Détritique fin
119	Argiles, Micarb, Aragonite (baguettes), Nannos (MC), Détritique grossier, Amorphes (globules jaunes)	Forams
134	Forams, Détritique grossier, Argiles (gds mx), Micarb, Aragonite (baguettes), Opaques	Nannos (MC)
140	Composés MC, Détritique grossier, Forams, Micarb, Aragonite (baguettes)	Nannos (MC)
146	Globules bruns amorphes, Nannos (MC), Micarb, Aragonite (baguettes), Composés MC, Détritique fin	Opaques, Forams
155	Micarb, Nannos (BC), Composés amorphes, Détritique, Forams	
161	Forams, Détritique, Nannos (BC), Micarb, Aragonite (baguettes), Amorphes	Opaques
170	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Détritique, Forams	
178	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Détritique, Forams	Opaques
188	Globules bruns MC, Amorphes, Micarb, Nannos (BC), Aragonite (baguettes), Forams, Détritique grossier	Opaques
196	Globules bruns MC, Amorphes, Micarb, Nannos (BC), Aragonite (baguettes), Forams, Détritique grossier	Opaques
205	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Détritique, Forams	Opaques
213	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Détritique, Forams	Opaques
225	Nannos (BC), Micarb, Forams, Aragonite (baguettes), Détritique grossier, gros mx argileux	Opaques, Amorphes
229	Nannos (BC), Micarb, Forams, Aragonite (baguettes), Détritique, Amorphes	Opaques,
234	Nannos (BC), Micarb, Forams, Aragonite (baguettes), Détritique grossier, grands mx argileux	Opaques, Amorphes

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
244	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Forams, Détritique	Opaques
247	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Forams, Détritique	Opaques
251	Micarb, Nannos (BC), Forams, Aragonite (baguettes), Détritique grossier	Opaques, Amorphes
252	Micarb, Nannos (BC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Forams, Amorphes	Pyrite, Opaques anguleux
257	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Forams, Aragonite (baguettes), Détritique	
265	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Détritique grossier	
267	Micarb, Nannos (BC), Aragonite (baguettes), Forams, Amorphes, Détritique fin	Opaques
292	Amorphes, Micarb, Nannos (BC), Forams	Détritique fin, Opaques
315	Micarb, Nannos (BC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Amorphes, Forams	Opaques
320	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Forams, Amorphes	Opaques anguleux
325	Détritique grossier, Forams, Nannos (BC), Micarb, Amorphes	
330	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes)	Détritique fin
332	Goethite (?), Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Forams	Détritique
336	Goethite (?), Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Forams	Détritique
360	Micarb, Aragonite (baguettes), Amorphes, Nannos, Détritique, Forams	Opaques
373	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Détritique grossier, Forams	Opaques
376 a	Forams, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Amorphes, Opaques anguleux	
376 b	Détritique grossier, Mx argileux, Forams, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes)	Opaques
384	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Forams, Opaques, Amorphes, Discoasters	
389	Micarb, Nannos (BC), Aragonite (baguettes), Détritique, Forams	Amorphes, Opaques
400	Détritique grossier, Forams, Opaques anguleux, Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes)	
402	Aragonite (baguettes), Micarb, Forams, Détritique grossier, Nannos (MC),	Opaques, Amorphes
410	Aragonite (baguettes), Micarb, Forams, Détritique grossier, Nannos (MC),	Opaques, Amorphes
418	Amorphes, Détritique, Opaques, Forams, Nannos (MC), Micarb, Aragonite (baguettes)	
427	Opaques (Pyrite ?), Détritique grossier, Amorphes, Forams, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes)	
443	Micarb, Aragonite (baguettes), Forams, Détritique, Verre volcanique, Nannos (MC)	Opaques, Amorphes
451	Amorphes, Micarb, Forams, Détritique grossier, Nannos (MC)	Opaques
455	Aragonite (baguettes), Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Détritique fin	Opaques
461	Micarb, Aragonite (baguettes), Amorphes, Nannos (MC), Détritique fin	Opaques
468	Amorphes, Détritique grossier, Micarb, Aragonite (baguettes), Forams, Nannos (MC)	
476	Aragonite (baguettes), Micarb, Amorphes, Nannos (MC), Forams, Détritique fin	Opaques
492	Amorphes, Micarb, Aragonite (baguettes), Détritique fin, Verre volcanique	Opaques
500	Micarb, Aragonite (baguettes), Nannos (MC), Forams, Détritique grossier	Amorphes, Opaques
503	Amorphes, Micarb, Aragonite (baguettes), Nannos (MC), Détritique fin	

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
506	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Forams, Détritique fin	Opaques
510	Mx argileux, Micarb, Aragonite (baguettes), Forams, Amorphes, Détritique grossier	Opaques
513	Détritique grossier, Mx argileux, Forams, Micarb, Aragonite (baguettes), Nannos	Opaques
519	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Forams, Amorphes, Opaques anguleux	
525	Amorphes, Aragonite (baguettes), Micarb, Forams, Détritique grossier, Nannos (MC)	Opaques
535	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique fin, Forams	
560	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Amorphes, Détritique fin, Forams, Opaques	
578	Amorphes, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique fin	Opaques
609	Détritique grossier, Forams, grands mx argileux, Amorphes (jaunes), Micarb, Nannos (MC), Opaques	
621	Amorphes (jaunes), Micarb, Détritique grossier, Aragonite (baguettes), Nannos (MC)	Opaques
629	Verre basaltique altéré, Détritique grossier, Forams, Argiles, Opaques	Micarb, Nannos
639	Amorphes (brun-jaune), Micarb, Nannos (MC), Forams, Aragonite (baguettes), Détritique fin, Globules bruns MC	Opaques
646	Détritique grossier, Argiles, Verre basaltique, Forams, Opaques, Micarb, Nannos	
653	Micarb, Aragonite (baguettes), Nannos (MC), Globules amorphes (jaunes), Forams, Opaques, Détritique	Globules amorphes (bruns)
664	Détritique grossier, Globules amorphes ou MC (brun-jaune), Forams, Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes)	Opaques
672	Globules amorphes (jaunes), Détritique grossier, Micarb, Nannos (MC), Forams, Aragonite (baguettes)	Opaques
681	Micarb, Nannos, Forams, Détritique grossier, Aragonite (baguettes), Globules amorphes (jaunes)	Opaques
684	Détritique grossier, Micarb, Aragonite (baguettes), Forams, Globules amorphes (jaunes), Nannos (MC)	Opaques
691	Composés amorphes ou MC (brun), Détritique, Forams	Micarb, Nannos
694	Micarb, Globules MC (brun-jaune), Détritique grossier, Forams, Nannos	Gros Opaques anguleux
697	Composés amorphes (jaune-brun), Globules bruns MC, Détritique grossier, Forams, Micarb, Nannos (MC), Aragonite	Opaques
704	Micarb, Globules + ou – amorphes (jaunes), Forams, Détritique, Opaques	
715	Globules bruns MC, Détritique grossier, Micarb, Nannos (MC)	Opaques
720	Micarb, Forams, Détritique grossier, Opaques	
730	Globules amorphes (brun-jaune), Détritique grossier, Micarb, Nannos (MC), Forams	Globules bruns MC Opaques
732	Détritique grossier, Forams, Argiles, Verre basaltique, Micarb, Nannos (MC), Amorphes (jaunes)	
734	Globules amorphes (jaune-brun), Détritique grossier, Forams, Micarb, Nannos (MC)	Opaques
745	Détritique grossier, Opaques, Forams, Micarb, Nannos (MC), Argile brune	
746	Micarb, Forams, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Détritique grossier, Opaques	Globules jaunes amorphes
751	Micarb, Globules jaunes amorphes, Nannos (MC), Détritique fin	Forams, Opaques
757	Amorphes jaunes + ou – globuleux, Micarb, Nannos (MC), Forams, Détritique grossier	Opaques

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
763	Globules jaunes amorphes, Micarb, Nannos (MC), Forams, Détritique fin, Opaques	
777	Argiles brunes, Globules bruns opaques, Détritique grossier, Micarb, Nannos, Forams	
789	Micarb, Nannos (MC), Détritique grossier, Forams, Globules jaunes amorphes	Opaques
792	Détritique grossier, Argiles, Opaques, Forams, Globules bruns opaques, Globules jaunes amorphes	Micarb, Nannos (MC)
799	Composés brun-jaune et Globules bruns amorphes, Détritique fin, Forams, Micarb	Nannos
816	Composés brun-jaune et Globules bruns amorphes, Détritique fin, Micarb, Nannos (MC), Forams, Opaques	
834	Micarb, Nannos (MC), Détritique fin, Globules jaunes amorphes	Opaques
837	Détritique grossier, Argiles, Forams, Grands Opaques, Micarb, Nannos (MC)	Globules jaunes amorphes
845	Globules jaunes amorphes, Micarb, Nannos, Forams, Détritique fin	Opaques
851	Micarb, Nannos, Argiles, Opaques, Détritique grossier, Forams	
857	Composés bruns amorphes, Globules bruns MC, Détritique fin	Micarb, Nannos (MC), Forams
871	Composés bruns amorphes, Globules bruns MC, Détritique fin	Micarb, Nannos (MC), Forams
878	Composés jaunes amorphes, Micarb, Nannos (MC), Détritique fin, Forams, Globules brun-jaune amorphes	Opaques
890	Composés bruns amorphes, Globules bruns MC, Détritique fin	Micarb, Nannos (MC), Forams
893	Composés bruns amorphes, Globules bruns MC, Détritique fin	Micarb, Nannos (MC), Forams
900	Détritique grossier, Argiles, Micarb, Nannos	Aragonite (baguettes)
909	Détritique grossier, Argiles, Opaques, Composés amorphes jaunes, Forams, Micarb, Nannos (MC)	
915	Composés jaune-brun amorphes, Globules bruns, Détritique fin, Micarb, Nannos (MC), Forams	Opaques
916	Composés jaune-brun et Globules bruns amorphes, Nannos, Aragonite (baguettes), Détritique grossier	
919	Composés jaune-brun amorphes, Globules incolores de silice amorphe	Détritique fin, Micarb, Nannos
922	Composés jaunes et Globules brun-jaune amorphes, Nannos (MC), Micarb, Détritique fin	Opaques, Aragonite (baguettes)
924	Détritique grossier, Micarb, Nannos, Aragonite (baguettes), Globules jaunes amorphes, Forams, Opaques	
929	Composés rouge-brun amorphes (Goethite ou Hématite MC)	Micarb, Nannos, Détritique
946	Composés brun-jaune amorphes, Globules bruns + ou – opaques, Détritique fin, Nannos (MC), Forams	Opaques
953	Détritique grossier, Forams, Gros Opaques	Micarb, Nannos
956	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Forams, Détritique fin, Globules jaunes amorphes	Opaques
962	Micarb, Nannos (MC), Aragonite (baguettes), Forams, Globules jaunes amorphes, Détritique fin	
969	Globules jaunes amorphes, Détritique grossier, Micarb, Nannos, Forams	Opaques
984	Micarb, Nannos, Forams, Aragonite (baguettes), Globules jaunes amorphes, Opaques, Détritique fin	Discoasters
987	*id.*	*id.*
1021	*id.*	*id.*
1106	*id.*	*id.*
1176	*id.*	*id.*
1257	*id.*	*id.*
1297	*id.*	*id.*
1337	*id.*	*id.*

MD 81399 : Atlantis II, bassin ouest.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Smectite, Glauconie, Mnsidérite, Pyrite	Quartz, Feldspaths
8	Smectite, Glauconie, Pyrite, Mnsidérite	Quartz
30	Smectite, Glauconie, Mnsidérite, Pyrite	Quartz, Feldspaths
65	Glauconie TBC	
82	Mnsidérite, Glauconie BC	Silice biogène, Quartz
112	Pyrite, Silicates amorphes, Silice biogène, Sphérules de silice amorphe	Forams, Anhydrite, Barytine, Détritique
121	Smectite brune BC, Glauconie	
138	Glauconie BC	Silicates amorphes
154	Goethite ou Lépidocrocite MC	Mnsidérite
155	Silicates amorphes ou MC, Mnsidérite, Barytine	Gypse
160	Goethite MC, Mnsidérite	Quartz, Barytine
168	*id.*	*id.*
172	Goethite BC	Mnsidérite
180	Goethite BC (ou Hématite ?), Mnsidérite	Détritique
187	Goethite TBC	Mnsidérite, Détritique
194	Goethite BC	Mnsidérite
197	Goethite BC	Quartz
200	Goethite BC	
203	Goethite TBC	
206	Goethite BC	
208	Goethite BC	Détritique
228	Oxydes de Mn BC	Quartz
243	Goethite TBC	
247	Goethite BC	Oxydes de Mn BC
249	Oxydes de Mn BC	Quartz
251	Goethite MC ou Hématite	Quartz
261	Oxydes de Mn BC	Détritique, Mnsidérite (?)
275	Goethite MC, Forams, Quartz, Mnsidérite	
277	Goethite MC, Mnsidérite	Détritique
280	Goethite TBC	Mnsidérite, Détritique
283	Goethite MC, Oxydes de Mn	Quartz
297	Goethite MC, Silicates amorphes, Mnsidérite, Forams recristallisés	Quartz
317	Goethite MC, Silicates amorphes, Forams recristallisés, Mnsidérite	Glauconie, Détritique, Verre volcanique
334	Smectite brune MC, Glauconie BC, Mnsidérite	Quartz
351	Goethite MC, Oxydes de Mn BC, Micarb, Mnsidérite	Silice biogène, Quartz
364	Smectite brune MC, Carbonates biogènes recristallisés, Mnsidérite	Quartz
371	Détritique, Smectite BC, Silicates amorphes, Carbonates recristallisés, Mnsidérite, Opaques	Glauconie
380	Goethite MC	Mnsidérite, Glauconie, Détritique
402	Smectite brune TBC	Mnsidérite
404	Micarb, Nannos (BC), Forams, Glauconie BC, Opaques, Mnsidérite	Silice biogène, Quartz
405	Micarb, Nannos (BC), Forams, Aragonite (?), Glauconie ou Smectite, Silice biogène, Silicates amorphes, Opaques	Quartz
406	Silice biogène, Micarb, Nannos (BC), Forams, Silicates + ou – amorphes, Aragonite, Détritique, Pyrite	
407	Mnsidérite, Glauconie BC, Détritique, Pyrite	
410	Smectite BC	Mnsidérite, Pyrite
420	Glauconie BC, Mnsidérite	Forams recristallisés, Détritique
424	Smectite brune, Glauconie, Mnsidérite	Pyrite, Quartz, Silice biogène
430	Mnsidérite, Smectite brune	Quartz
438	Smectite brune TBC, Mnsidérite	Quartz, Verre volcanique
450	Smectite brune TBC, Mnsidérite	Quartz

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
458	Glauconie ou Smectite BC, Goethite MC, Mnsidérite	Quartz, Pyrite
462	Smectite TBC	
467	Glauconie TBC, Mnsidérite, Quartz	Forams, Micarb
471	Smectite MC	Nannos, Mnsidérite
475	Goethite TBC	Quartz, Mnsidérite
477	Smectite brune TBC, Mnsidérite	Quartz
482	Glauconie TBC, Mnsidérite	
489	Goethite TBC	Mnsidérite, Quartz
491	Goethite BC ou Hématite	Mnsidérite
493	Goethite BC ou Hématite, Oxydes de Mn, Smectite brune, Glauconie	Quartz, Mnsidérite
496	Goethite TBC, Hématite (?)	Mnsidérite, Quartz
500	Oxydes de Mn TBC	
502	Goethite TBC	Mnsidérite, Quartz
522	Smectite brune TBC	Mnsidérite
530	*id.*	*id.*
535	Mnsidérite	
538	Glauconie TBC	Quartz
542	Smectite ou Glauconie MC, Pyrite, Silice biogène, Micarb, Forams, Aragonite (?), Nannos (MC), Quartz	Mnsidérite
544	Mnsidérite	Détritique, Pyrite, Silice biogène
552	Mnsidérite, Carbonates biogènes, Sphérules de silice amorphe, Pyrite	Silice biogène, Détritique, Blende
567	Pyrite, Silice biogène, Sphérules de silice amorphe, Micarb, Nannos (MC)	Quartz, Blende
581	Pyrite, Silice biogène MC	Gypse, Détritique
599	Pyrite, Silice biogène	Forams, Blende, Détritique
612	Micarb, Nannos (MC), Mnsidérite, Silicates amorphes, Silice biogène, Pyrite, Glauconie, Sphérules de silice amorphe	Détritique
617	Pyrite, Silice biogène, Glauconie	Forams, Micarb, Détritique
618	Pyrite, Silice biogène, Sphérules de silice amorphe, Glauconie	Détritique
622	Mnsidérite, Pyrite, Quartz, Smectite brune	Sphérules de silice amorphe
635	Mnsidérite, Pyrite	Quartz, Silice biogène
639	Pyrite, Mnsidérite, Silice biogène MC	
641	Verre volcanique, Smectite brune, Mnsidérite, Glauconie	Pyrite, Silice biogène
645	Glauconie TBC, Mnsidérite	Pyrite
647	Mnsidérite, Verre volcanique, Smectite ou Glauconie	Opaques
654	Glauconie MC, Pyrite, Silice biogène	
666	Smectite brune MC, Glauconie BC, Verre volcanique, Mnsidérite	Forams
674	Silicates amorphes, Pyrite, Mnsidérite	Silice et Carbonates biogènes, Quartz
682	Smectite brune TBC, Verre volcanique	Mnsidérite
706	Mnsidérite, Glauconie BC	Verre volcanique, Quartz
709	Glauconie BC	Pyrite
716	Glauconie BC, Pyrite, Mnsidérite	Silice biogène, Micarb
725	Glauconie TBC, Pyrite	Silice biogène
728	Pyrite, Silice biogène, Micarb	Nannos (MC), Sphérules amorphes
734	Mnsidérite, Micarb, Carbonates biogènes recristallisés, Pyrite	
738	Glauconie TBC	
752	Pyrite, Sphérules de silice amorphe, Silice biogène	Micarb, Détritique, Blende, Gypse
761	Gypse, Pyrite, Mnsidérite, Silicates amorphes	Silice biogène, Verre volcanique, Quartz
766	*id.*	*id.*
778	Goethite TBC	Mnsidérite
783	Composés amorphes, Débris carbonatés recristallisés, Mnsidérite	Quartz

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
787	Micarb, Forams, Aragonite (?), Composés amorphes, Amas carbonatés	Détritique, Glauconie, Nannos (MC)
797	Pyrite grossière, Détritique	Forams
805	Carbonates et Silice biogènes, Pyrite, Détritique	Verre volcanique
812	Goethite ou Lépidocrocite, Mnsidérite, Pyrite	Détritique, Silice biogène
817	Goethite BC. Mnsidérite	Micarb, Quartz
819	Carbonates biogènes recristallisés en Mnsidérite, Composés amorphes	Quartz
822	Micarb, Nannos (BC), Aragonite (?), Forams, Quartz	Opaques
828	Goethite BC. Mnsidérite	Micarb, Quartz
830	Micarb, Nannos (BC), Aragonite (?), Quartz, Composés amorphes	
840	Composés rouges MC, Barytine (?), Mnsidérite	
847	Micarb	Aragonite, Quartz, Nannos recristallisés
855	Micarb, Nannos (BC), Forams, Aragonite, Amas carbonatés, Pyrite, Détritique	
860	Micarb, Aragonite (?), Quartz	
863	Carbonates biogènes recristallisés, Amas carbonatés, Quartz	Opaques, Composés amorphes
880	Carbonates biogènes recristallisés, Amas carbonatés, Quartz, Composés amorphes	
886	Micarb, Détritique	
890	Carbonates biogènes + ou – recristallisés, Amas carbonatés, Détritique, Composés amorphes	Opaques
893	Carbonates biogènes + ou – recristallisés, Smectite ou Glauconie, Détritique, Opaques (Pyrite?)	
894	Carbonates biogènes, Aragonite, Pyrite	Quartz
895	Pyrite, Glauconie ou Smectite. Carbonates biogènes, Détritique	
897	Nannos, Micarb, Forams, Aragonite (?), Détritique, Pyrite	
898	Lépidocrocite ou Goethite MC, Micarb, Nannos, Forams, Aragonite (?), Détritique	
900	Goethite ou Lépidocrocite BC	Nannos et Forams recristallisés
901	Micarb, Nannos, Forams, Aragonite (?), Lépidocrocite ou Goethite MC, Détritique	Nannos
905	Micarb, Nannos, Forams. Aragonite (?), Quartz	Pyrite
909	Goethite ou Lépidocrocite BC	Nannos et Forams recristallisés
911	Micarb, Forams, Aragonite (baguettes), Nannos (MC), Quartz	Composés amorphes
913	Lépidocrocite MC, Micarb, Nannos (MC), Forams, Aragonite (?)	
915	Micarb, Nannos, Forams, Aragonite (?), Détritique	Pyrite
916	*id.*	*id.*
925	Carbonates très recristallisés	
936	Micarb, Nannos, Forams, Aragonite (?), Détritique	
944	Lépidocrocite ou Goethite	Carbonates

MD 81403 : Atlantis II, bassin est.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Smectite	Forams, Nannos, Détritique, Mnsidérite
61	*id.*	*id.*
147	Smectite	Quartz, Nannos, Mnsidérite

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
192	Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Smectite, Micarb, Mnsidérite, Opaques	Forams, Nannos, Détritique, Glauconie
218	Micarb, Nannos, Silicates et Oxy-Hydroxydes amorphes, Forams	Mnsidérite, Opaques, Détritique,Glauconie
232	Smectite, Oxy-hydroxydes amorphes, Micarb Glauconie	Ouartz. Forams. Opaques,
249	Smectite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Micarb, Quartz, Opaques, Glauconie
286	Smectite, Oxy-hydroxydes amorphes	Carbonates biogènes, Opaques, Glauconie
331	Smectite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Micarb, Ouartz
342	Smectite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Glauconie	Détritique, Micarb, Opaques
352	Glauconie, Mnsidérite	Opaques, Pyrite
353	Mnsidérite, Glauconie	Opaques, Carbonates, Anhydrite
375	Smectite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Glauconie	Micarb, Nannos, Forams, Quartz
451	Opaques, Smectite, Glauconie	Ouartz, Nannos, Silicates amorphes
464	Smectite	Ouartz, Glauconie, Silicates amorphes
487	Smectite, Glauconie, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Opaques, Pyrite, Quartz
488	Goethite	Oxy-hydroxydes amorphes, Opaques
505	Glauconie	Micarb, Nannos, Opaques, Pyrite
507	Mnsidérite, Glauconie	Détritique, Opaques, Pyrite, Anhydrite
518	Mnsidérite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Anhydrite	Opaques. Pyrite. Nannos, Glauconie
525	Mnsidérite, Glauconie	Opaques, Quartz, Forams
546	Glauconie, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Micarb, Nannos, Forams, Silice biogène	Sphérules amorphes, Anhydrite, Opaques
555	Smectite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Mnsidérite	Micarb, Nannos, Glauconie, Opaques
560	Mnsidérite, Silicates amorphes, Détritique fin	Glauconie, Silice et carbonates biogénes
569	Smectite, Carbonates authigènes et détritiques	Oxy-hydroxydes amorphes, Détritique
576	Goethite	Détritique, Opaques
586	*id.*	*id.*
592	Goethite, Opaques	Détritique. Mnsidérite
598	Goethite	Opaques, Quartz, Micarb
600	*id.*	*id.*
616	Micarb, Nannos, Forams, Détritique, Verre volcanique	Opaques
617	Micarb, Nannos, Silicates amorphes	Forams, Détritique, Opaques, Verre volc.
622	Opaques, Goethite, Composés amorphes	Carbonates biogènes, Détritique
625	Micarb, Forams, Nannos, Silicates amorphes, Détritique, Verre volcanique	Discoasters, Opaques
635	Silicates amorphes, Smectite, Micarb, Nannos	Quartz, Opaques
648	Glauconie	Carbonates et Silice biogènes, Mnsidérite
650	Mnsidérite, Micarb, Nannos, Carbonates authigènes	Détritique, Glauconie, Forams, Amorphes

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
658	Mnsidérite, Silicates amorphes	Détritique, Smectite, Pyrite, Glauconie
659	Glauconie	Opaques, Pyrite, Diatomées
669	Smectite, Glauconie, Silicates amorphes	Micarb, Forams, Opaques
682	Smectite, Silicates amorphes	Glauconie, Détritique, Bioclastes
776	Smectite	Glauconie, Opaques, Micarb, Quartz
826	Mnsidérite	Détritique, Glauconie, Opaques, Micarb
828	Glauconie	Opaques, Silice biogène
834	Micarb, Nannos, Opaques, Silice biogène, Sphérules de silice amorphe	Forams, Glauconie, Silicates amorphes
842	Opaques, Pyrite	Détritique, Nannos, Micarb, Silice biogène
856	Silicates amorphes, Micarb, Nannos, Mnsidérite, Opaques	Diatomées, Glauconie, Anhydrite, Forams
860	Mnsidérite, Opaques	Quartz, Silicates amorphes, Glauconie
873	Opaques, Pyrite, Silice biogène	Micarb, Forams, Sphérules amorphes
885	Glauconie, Micarb, Nannos, Mnsidérite, Opaques	Forams, Détritique, Silice biogène
890	Mnsidérite, Opaques, Micarb, Silice biogène	Détritique, Smectite, Sphérules amorphes
901	Micarb, Nannos, Opaques, Silicates amorphes, Détritique	Mnsidérite, Sphérules amorphes
904	Opaques, Silicates amorphes, Smectite, Détritique	Mnsidérite, Silice biogène, Verre volc.
907	Opaques, Sphérules de silice amorphe	Silice biogène, Micarb, Forams
912	Mnsidérite, Opaques	Quartz, Silicates amorphes, Diatomées
916	Opaques (Pyrite ?), Micarb, Nannos, Mnsidérite, Silice biogène	Forams, Silicates amorphes, Glauconie
923	Smectite	Mnsidérite, Micarb
933	Calcite authigène	Détritique, Silicates amorphes, Diatomées
940	Opaques (Pyrite ?), Sphérules amorphes, Silice biogène, Micarb	Quartz, Mnsidérite
945	Smectite	Opaques, Quartz, Mnsidérite
958	Smectite, Mnsidérite (?)	Forams, Opaques, Détritique, Verre volc.
963	Opaques (Pyrite ?), Silice biogène, Sphérules de silice amorphe	Micarb, Mnsidérite, Détritique
973	Silicates amorphes, Mnsidérite	Micarb, Opaques, Verre volcanique
984	Opaques, Silice biogène, Mnsidérite, Micarb	Détritique, Silicates amorphes, Glauconie
994	Opaques, Micarb, Nannos	Détritique, Mnsidérite, Amorphes, Diatomées
1003	Smectite, Micarb, Nannos	Verre volcanique, Quartz
1012	Silicates amorphes, Mnsidérite, Micarb, Smectite	Forams, Opaques, Quartz, Verre volcanique
1034	Mnsidérite	Opaques, Quartz, Micarb
1041	Mnsidérite, Opaques	Smectite, Amorphes, Quartz, Glauconie

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
1052	Opaques (Pyrite ?), Silice biogène	Micarb, Quartz, Forams, Verre volcanique
1062	Goethite, Silicates amorphes	Micarb, Nannos, Forams, Quartz
1064	Silicates amorphes, Micarb, Nannos, Forams	Opaques, Quartz, Smectite, Mnsidérite
1065	Micarb, Nannos, Forams	Glauconie, Opaques, Quartz, Verre volc.
1067	Goethite	Nannos, Micarb, Opaques
1069	Micarb, Nannos, Forams	Quartz, Glauconie, Silicates amorphes
1071	Micarb, Nannos, Forams, Silicates amorphes, Opaques	Quartz, Glauconie, Verre volcanique
1075	Micarb, Nannos, Forams, Glauconie, Quartz, Opaques	Silicates amorphes
1080	Micarb, Nannos, Opaques, Smectite, Quartz, Forams	Silicates amorphes
1109	Goethite	Quartz, Micarb, Nannos
1120	Goethite, Silicates amorphes	Quartz, Opaques, Micarb
1125	Goethite ou Lépidocrocite	Détritique, Micarb, Opaques
1129	Micarb, Nannos, Forams	Détritique, Silicates amorphes, Verre volc.
1133	Micarb, Nannos, Détritique, Opaques, Forams	Smectite, Mnsidérite, Silicates amorphes
1138	Micarb, Nannos, Forams, Opaques	Quartz, Glauconie, Silicates amorphes
1150	Goethite	Mnsidérite, Forams, Opaques
1157	Opaques, Forams, Micarb, Nannos, Quartz	Smectite, Silicates amorphes
1162	Goethite	Mnsidérite, Forams
1177	Goethite, Mnsidérite	Opaques, Forams, Barytine
1213	Micarb, Nannos, Forams, Silicates amorphes	Opaques, Glauconie, Quartz
1228	Goethite, Mnsidérite	Micarb, Opaques
1234	Mnsidérite, Opaques	Quartz, Silicates amorphes
1244	Goethite	Verre volcanique, Opaques
1256	Mnsidérite	Quartz, Silicates amorphes, Forams
1261	Goethite, Verre volcanique	Forams, Mnsidérite, Quartz, Opaques
1280	Goethite	Mnsidérite, Opaques
1310	Goethite	Opaques, Mnsidérite, Nannos, Forams
1325	Micarb, Nannos, Silicates amorphes, Détritique	Opaques, Glauconie, Verre volcanique
1335	Micarb, Nannos, Forams	Silicates amorphes, Détritique, Verre volc.
1355	Micarb, Nannos, Silicates amorphes	Détritique, Opaques, Glauconie, Verre volc.
1368	Composés amorphes (Oxy-hydroxydes ?)	Carbonates biogénes, Détritique, Mnsidérite
1380	Micarb, Nannos, Carbonates détritiques, Détritique, Silicates amorphes	Calcite authigène, Verre volcanique, Opaques
1400	Micarb, Nannos, Carbonates détritiques	Opaques, Détritique, Silicates amorphes

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
1408	Goethite, Micarb, Nannos	Ouartz, Opaques
1417	*id.*	*id.*
1421	Micarb, Nannos, Forams, Silicates amorphes, Opaques, Détritique	
1433	Micarb, Nannos, Forams, Silicates amorphes	Verre volc., Opaques, Glauconie, Détritique
1458	Goethite	Détritique, Opaques, Quartz, Barytine (?)
1467	Micarb, Nannos, Forams, Opaques, Silicates amorphes	
1494	Micarb, Nannos, Forams, Détritique	Opaques, Silicates amorphes
1544	Micarb, Nannos, Forams, Silicates amorphes, Opaques	Ouartz

MD 81404 : Atlantis II, Nord Passage.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Glauconie	Carbonates biogènes, Détritique, Diatomées
20	*id.*	*id.*
37	Goethite	Carbonates biogènes, Détritique, Glauconie
40	Glauconie, Oxy-hydroxydes et Silicates amorphes, Smectite	Carbonates biogènes, Détritique, Mnsidérite
43	Glauconie	Silicates amorphes, Quartz, Opaques
60	Oxy-hydroxydes et Silicates amorphes, Glauconie, Mnsidérite	Carbonates biogènes, Ouartz, Opaques
80	*id.*	*id.*
100	*id.*	*id.*
120	Glauconie, Oxy-hydroxydes et Silicates amorphes, Mnsidérite, Micarb, Nannos, Forams	Détritique, Opaques
140	*id.*	Quartz, Opaques, Barytine (?)
170	Glauconie, Silicates amorphes, Micarb, Nannos, Forams, Opaques	Ouartz
190	Glauconie, Micarb, Nannos, Forams, Opaques, Oxy-hydroxydes et Silicates amorphes	Détritique, Mnsidérite
210	Glauconie, Silicates amorphes, Micarb, Nannos, Forams, Opaques	Mnsidérite, Détritique
230	*id.*	*id.*
250	*id.*	*id.*
270	*id.*	*id.*
278	Glauconie	Opaques
287	Opaques, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Sphérules de silice amorphe	Carbonates biogènes, Diatomées, Barytine
290	*id.*	*id.*
307	Glauconie, Silicates amorphes	Détritique, Barytine (?)
320	Goethite, Mnsidérite, Glauconie	Quartz
323	Silicates amorphes, Glauconie MC, Mnsidérite, Oxy-hydroxydes amorphes	Quartz, Nannos, Opaques
336	Goethite MC, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Mnsidérite, Glauconie
350	Goethite BC	Détritique, Mnsidérite
366	Goethite, Silicates amorphes	Quartz, Opaques, Mnsidérite, Glauconie
375	Glauconie, Goethite MC	Détritique, Opaques
377	*id.*	*id.*
390	Goethite MC, Barytine, Mnsidérite	Détritique

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
413	Mnsidérite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Détritique, Opaques, Glauconie
422	Goethite MC	Glauconie, Mnsidérite, Détritique, Opaques
424	Goethite	*id.*
430 a	Mnsidérite, Micarb	Détritique, Amorphes, Glauconie, Nannos
430 b	Smectites, Silicates amorphes	*id.*
437	Smectite, Silicates amorphes, Mnsidérite, Glauconie	Quartz, Micarb, Opaques
446	Glauconie, Mnsidérite	Quartz, Opaques, Silicates amorphes
456	Glauconie, Oxy-hydroxydes amorphes, Mnsidérite	Détritique, Diatomées, Silicates amorphes
460	Glauconie, Opaques, Mnsidérite, Sulfures amorphes ?, Oxy-hydroxydes amorphes	
480	Smectite, Silicates amorphes, Mnsidérite, Oxy-hydroxydes amorphes	Micarb, Opaques, Glauconie
506	Goethite, Oxy-hydroxydes amorphes	Détritique, Barytine, Mnsidérite, Glauconie
525	Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Mnsidérite, Glauconie	Micarb, Ouartz, Opaques
560	Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Glauconie	Détritique, Mnsidérite, Nannos, Opaques
565	Glauconie	Amorphes, Opaques, Mnsidérite, Micarb
567	Mnsidérite, Micarb	Opaques, Nannos
577	*id.*	*id.*
585	Opaques (Pyrite ?), Silicates amorphes, Silice biogène, Glauconie	Détritique, Sphérules amorphes, Verre volc.
595	Opaques, Silicates amorphes, Mnsidérite	Détritique, Silice biogène
606	Glauconie, Carbonates détritiques, Silicates amorphes	Micarb, Nannos, Diatomées, Mnsidérite
625	Smectite, Silicates amorphes, Glauconie, Oxy-hydroxydes amorphes	Quartz, Micarb, Mnsidérite
640	Glauconie, Opaques	Sulfures amorphes ?
659	Glauconie	Opaques, Sulfures amorphes
670	Mnsidérite, Glauconie, Opaques	Détritique, Verre volc., Diatomées, Amorphes
680	Micarb, Aragonite (Baguettes), Nannos, Forams, Détritique, Mnsidérite	Glauconie, Opaques, Verre volcanique
684	Goethite, Mnsidérite, Micarb	Opaques, Carbonates biogènes, Glauconie
700	Goethite	Quartz, Opaques, Mnsidérite, Verre volc.
730	Micarb, Aragonite (baguettes), Nannos, Forams, Détritique, Mnsidérite	Glauconie, Opaques, Verre volcanique
732	Opaques, Micarb, Détritique, Nannos, Silicates amorphes	Forams, Glauconie, Mnsidérite
735	Micarb, Calcite authigène	Détritique, Opaques, Verre volc., Glauconie
738	*id.*	*id.*
746	Goethite	Opaques
760	Goethite	Mnsidérite, Opaques, Verre volcanique
770	Goethite, Silicates amorphes, Mnsidérite	Quartz, Opaques, Micarb, Nannos
774	Opaques (Pyrite), Silicates amorphes, Micarb	Quartz, Mnsidérite, Nannos, Verre volc.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
777	Opaques (Sulfures ?)	Micarb, Nannos, Amorphes, Mnsidérite
780	Opaques, Mnsidérite, Carbonates détritiques	Silicates amorphes, Quartz, Micarb
825	Anhydrite, Opaques (Pyrite ?)	
877	*id.*	Silicates amorphes

MD 81408 : bassin de Wando.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Aragonite, Nannos, Forams, Goethite MC	Détritique, Verre volcanique
10	Oxydes de Mn BC, Mnsidérite	Détritique, Nannos
13	Goethite MC, Carbonates authigènes, Détritique, Nannos	
19	Glauconie (?), Nannos, Micarb, Forams, Composés amorphes	Détritique, Opaques
26	Smectite, Nannos, Micarb	Glauconie BC, Opaques, Détritique
44	Goethite MC, Mnsidérite (?)	Quartz, Nannos, Forams
45	Oxydes de Mn BC, Nannos, Micarb, Carbonates authigènes	Quartz, Forams
47	Calcite authigène, Micarb et Nannos recristallisés	
48	Nannos, Micarb, Forams, Aragonite, Composés amorphes	Quartz
53	Goethite BC	Quartz, Nannos
65	Forams, Micarb, Nannos, Aragonite, Composés amorphes, Quartz	
72	Micarb, Forams, Aragonite	Nannos
84	Goethite BC	Mnsidérite, Quartz
95	Mnsidérite, Aragonite (?), Quartz	Détritique, Nannos, Composés amorphes
127	Forams, Nannos (MC), Micarb, Aragonite, Quartz	
138	Goethite BC, Mnsidérite	
142	Nannos, Micarb, Aragonite, Goethite, Quartz, Forams	
147	Nannos, Micarb, Smectite MC ou Goethite MC	Quartz
207	Nannos, Micarb, Smectite ou Goethite MC	Quartz
266	Nannos, Micarb, Aragonite, Forams, Goethite ou Smectite MC	Quartz
281	Forams, Goethite ou Smectite MC, Micarb, Nannos, Quartz	
288	Forams recristallisés, Amas carbonatés, Micarb, Nannos, Aragonite	Quartz, Carbonates authigènes
290	Smectite	Nannos
291	Goethite BC	Nannos
298	Nannos, Micarb, Aragonite, Forams recristallisés	Quartz, Composés amorphes
311	Composés amorphes, Micarb, Nannos, Forams, Quartz, Aragonite (?)	
329	Nannos, Micarb, Forams, Composés amorphes, Quartz	Calcite authigène
333	Composés amorphes, Forams, Micarb, Amas carbonatés, Nannos (MC), Aragonite (?), Quartz	
340	Forams, Micarb, Amas carbonatés, Nannos recristallisés, Quartz	Aragonite (?)
342	Nannos recristallisés, Aragonite (?), Micarb, Forams	Détritique, Argiles
353	Opaques (Sulfures), Composés amorphes, Forams, Nannos, Micarb	Détritique
368	Composés amorphes, Nannos, Micarb, Forams, Aragonite, Quartz	
372	Micarb, Forams et Nannos recristallisés, Opaques, Quartz	Aragonite (?)
379	Nannos et Forams recristallisés, Aragonite (?), Composés amorphes, Opaques, Quartz	
393	*id.*	
410	Micarb, Forams et Nannos recristallisés, Micarb, Calcite authigène, Opaques, Quartz	Discoasters

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
411	Amas carbonatés, Hématite, Micarb	Quartz, Nannos, Aragonite
416 a	Micarb, Forams, Nannos recristallisés, Aragonite (?), Composés amorphes, Quartz	
416 b	Sphérules opaques, Composés amorphes, Amas carbonatés, Forams, Nannos, Quartz	
434	Hématite, Amas carbonatés, Micarb, Quartz, Nannos recristallisés	Calcite authigène, Opaques
442	Hématite, Mnsidérite, Opaques (Oxydes de Mn ?), Forams, Micarb	Quartz, Nannos
446	Hématite, Micarb, Nannos recristallisés, Amas carbonatés	Quartz
448	Opaques (Sulfures), Composés amorphes, Micarb, Nannos recristallisés, Smectite	Quartz, Verre volcanique
457	Hématite, Micarb	Nannos recristallisés, Quartz
469	Hématite, Micarb	*id.*
475	Hématite	Micarb, Amas carbonatés
478	Smectite, Opaques	Détritique, Micarb
480	Hématite, Smectite	Forams, Micarb, Quartz
489	Hématite, Micarb, Aragonite (?), Amas carbonatés	Quartz, Nannos, Mnsidérite, Opaques
499	Micarb, Amas carbonatés, Composés + ou – amorphes	Détritique
507	Verre volcanique, Smectite, Opaques	Quartz, Amas carbonatés
510	Hématite	Quartz
512	Smectite, Pyrite	Micarb, Amas carbonatés
513	Micarb, Amas carbonatés, Pyrite (?)	
518	Hématite, Amas carbonatés, Micarb, Opaques	

MD 81409 : Atlantis II, bassin sud-ouest.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
9	Oxydes et Silicates amorphes, Smectite MC	Glauconie, Nannos
10	Smectite MC, Composés amorphes	Mnsidérite, Pyrite, Forams, Gypse
30	Smectite MC, Composés amorphes, Glauconie	Nannos, Pyrite, Mnsidérite, Quartz
51	Smectite BC	Glauconie, Verre volcanique, Opaques
58	Pyrite, Opaques, Anhydrite	Quartz, Nannos
60	Glauconie ou Smectite, Hématite	Nannos, Pyrite
72	Glauconie ou Smectite, Mnsidérite	Verre volcanique, Nannos, Quartz
105	Smectite, Composés amorphes, Glauconie BC	Détritique, Mnsidérite, Gypse, Forams
113	Smectite MC, Composés amorphes	Glauconie, Forams, Nannos, Mnsidérite
124	Smectite BC, Glauconie, Pyrite	Calcite, Quartz
132	Glauconie BC, Pyrite, Opaques, Smectite BC, Anhydrite	Détritique, Mnsidérite, Nannos
149	Glauconie BC, Smectite MC, Composés amorphes, Opaques, Pyrite, Nannos, Micarb, Mnsidérite (?)	Quartz
160	Glauconie, Pyrite, Opaques, Micarb, Nannos, Forams, Mnsidérite, Smectite, Composés amorphes	Quartz, Anhydrite
186	Smectite, Pyrite, Composés amorphes, Mnsidérite	Micarb, Nannos
214	Silicates amorphes, Amas carbonatés	Micarb, Quartz
220	Smectite MC, Pyrite, Mnsidérite (?)	Quartz, Forams, Micarb, Nannos

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
240	Smectite, Glauconie, Composés amorphes, Micarb, Nannos, Forams	Quartz, Pyrite
253	Smectite, Pyrite, Mnsidérite	Anhydrite, Micarb
255	Pyrite, Blende, Glauconie BC	Silice biogène, Quartz, Composés amorphes
260	Glauconie ou Smectite, Pyrite	Détritique
267	Smectite BC, Pyrite	Nannos, Micarb
295	Glauconie, Smectite, Pyrite, Blende	Détritique, Forams, Diatomées, Détritique
320	Blende, Pyrite	Quartz, Silice biogène
338	Blende, Pyrite	Quartz, Silice biogène, Smectite
348	Glauconie BC	Pyrite
372	Pyrite, Blende, Mnsidérite	Quartz, Anhydrite, Barytine
374	Composés amorphes, Goethite MC	Mnsidérite, Pyrite
381	Anhydrite, Mnsidérite (?), Pyrite	Détritique
384	Goethite ou Smectite MC, Mnsidérite	Quartz
390	Composés amorphes, Carbonates	Nannos, Quartz
395	Smectite BC, Mnsidérite, Micarb	Composés amorphes, Quartz
399	Anhydrite, Mnsidérite, Composés amorphes, Pyrite	Quartz
402	Pyrite, Anhydrite, Mnsidérite	Quartz, Silice biogène
403	Pyrite, Composés amorphes, Mnsidérite	Quartz
410	Goethite BC, Composés amorphes, Mnsidérite	Quartz, Anhydrite
425	Anhydrite, Composés amorphes, Mnsidérite, Goethite MC	
440	Goethite, Verre volcanique	Détritique, Mnsidérite
446	Goethite MC, Mnsidérite	Quartz
451	Goethite BC	Mnsidérite
488	Hématite	

MD 81412 : Néréus.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
5	Micarb, Nannos, Aragonite (baguettes), Oxy-hydroxydes amorphes	Détritique, Silicates amorphes
7	Oxy-hydroxydes de Fe et de Mn + ou – amorphes, Silicates amorphes	Nannos, Quartz, Carbonates détritiques
9	Nannos, Forams, Micarb, Aragonite (baguettes), Silicates amorphes	Détritique, Opaques
13	Micarb, Carbonates détritiques, Nannos, Forams	Pyrite, Oxy-hydroxydes et Silicates amorphes
18	Oxy-hydroxydes de Fe et de Mn + ou – amorphes, Nannos, Aragonite (baguettes), Silicates amorphes	Forams, Quartz
23	Glauconie BC, Détritique, Micarb, Nannos, Opaques (Pyrite ?), Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	
27	Glauconie BC, Détritique, Micarb, Carbonates détritiques, Opaques (Pyrite), Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Nannos
34	Nannos, Micarb	Forams, Glauconie, Détritique, Opaques
36	Composés amorphes, Smectite MC, Nannos, Micarb	Forams, Quartz, Calcite authigène
38	Composés amorphes, Nannos, Micarb, Smectite	*id.*
42	Nannos, Micarb, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Smectite, Détritique, Opaques	Calcite authigène, Forams, Glauconie (?)

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
43	Nannos, Micarb, Opaques	Composés amorphes, Quartz, Glauconie
44	Nannos, Micarb, Glauconie, Oxy-hydroxydes amorphes	Opaques, Ouartz
48 a	Oxy-hydroxydes amorphes, Nannos, Micarb	Forams, Quartz, Opaques
48 b	Carbonates recristallisés, Nannos	Opaques, Smectite
51	*id.*	*id.*
52	Goethite MC	Nannos, Micarb
80	Nannos, Micarb, Forams	Glauconie, Composés amorphes, Détritique
82	Oxy-hydroxydes amorphes, Nannos, Micarb	Quartz, Opaques, Forams
83	Nannos, Micarb, Oxy-hydroxydes amorphes	Quartz, Opaques
100	Silicates amorphes	Nannos, Micarb, Opaques
102	Glauconie, Micarb, Nannos, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Opaques, Ouartz, Pyrite
104	Nannos, Micarb, Silicates amorphes, Forams	Opaques, Pyrite, Quartz
106	Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Micarb, Nannos, Opaques (Pyrite ?)	Glauconie, Ouartz
107	Hématite, Opaques (Pyrite ?)	Nannos, Micarb
115	Nannos, Micarb, Smectite, Opaques	Quartz
130	Micarb, Nannos	Opaques, Smectite, Silicates amorphes
136	Smectite, Calcite authigène, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Opaques, Nannos, Mnsidérite
140	Nannos, Micarb, Opaques, Smectite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Quartz, Forams
156	Smectite, Oxy-hydroxydes amorphes, Opaques, Nannos, Micarb	Forams, Ouartz, Mnsidérite
166	Smectite	Opaques, Pyrite, Nannos, Micarb
172	Hématite BC	Carbonates détritiques
187	Smectite, Hématite MC, Micarb, Carbonates détritiques	Nannos, Opaques, Quartz, Mnsidérite
191	Smectite, Carbonates détritiques, Micarb, Hématite	Opaques
194	Glauconie, Micarb, Carbonates détritiques	Nannos, Opaques
195	Hématite BC	Micarb
197	Micarb, Carbonates détritiques, Smectite ou Glauconie	Quartz, Opaques
206	Smectite, Micarb, Carbonates détritiques, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Opaques, Nannos, Mnsidérite
220	Hématite, Micarb, Carbonates détritiques, Opaques	
225	Hématite	Opaques, Mnsidérite
228	Smectite, Micarb, Nannos	Opaques, Quartz, Forams
230	Micarb, Nannos, Smectite	*id.*
234	Micarb, Smectite, Nannos, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes, Opaques	Forams, Glauconie, Quartz
240	Smectite, Micarb, Nannos, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Forams, Quartz, Opaques
244	Hématite	Micarb, Quartz
260	Smectite, Micarb, Nannos, Opaques	Forams, Quartz
272	Opaques (sulfures)	Micarb, Nannos
286	Micarb, Smectite	Nannos, Forams, Quartz, Opaques
291	Goethite MC, Oxy-hydroxydes amorphes, Micarb	Quartz, Nannos
295	Micarb, Smectite	Opaques, Quartz, Mnsidérite, Nannos
296	Micarb	Opaques, Smectite, Nannos, Mnsidérite

ANNEXE 7

ANALYSES DIFFRACTOMÉTRIQUES

Le niveau cumulé correspond à la cote en centimètres de l'échantillon dans la colonne sédimentaire. Les composants sont indiqués par ordre d'importance.

Composant : TB, très bien cristallisé ; BC, bien cristallisé ; MC, mal cristallisé.
Mnsidérite : Manganosidérite.
CaMg : Calcite magnésienne.

MD 81388 : Commission I.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
2	Calcite, Illite, Quartz, Chlorite, CaMg, Détritique	Kaolinite, Aragonite, Dolomite
7	Calcite, Illite, Quartz, Chlorite, Détritique	CaMg, Aragonite, Kaolinite, Dolomite
30	Calcite, Illite, Quartz, Chlorite, CaMg, Détritique	Kaolinite, Dolomite, Aragonite
54	*id.*	*id.*
80	Calcite, CaMg, Quartz	Illite, Chlorite, Kaolinite, Dolomite, Goethite
85	Calcite, CaMg, Oxydes de Mn + ou – amorphes probables	Quartz, Illite, Kaolinite, Smectite
119	Calcite, CaMg, Quartz, Illite, Chlorite	Aragonite, Dolomite, Kaolinite, Goethite
134	Illite, Détritique, Calcite, Quartz, Aragonite, Chlorite	Dolomite, CaMg
140	Calcite, CaMg, Quartz	Illite, Chlorite, Détritique, Goethite, Aragonite
155	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Kaolinite, Aragonite, Dolomite
188	Calcite, CaMg, Quartz	Illite, Chlorite, Détritique, Aragonite
189	Calcite, CaMg, Quartz	Illite, Chlorite, Oxydes de Mn (?)
214	Calcite, Quartz, Illite, Chlorite, CaMg, Détritique	Aragonite, Dolomite, Kaolinite
230	Calcite, CaMg, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Aragonite, Dolomite, Goethite
236	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Aragonite, Dolomite
247	Calcite, CaMg, Quartz	Détritique, Illite, Kaolinite, Aragonite, Goethite
251	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Aragonite, Dolomite, Kaolinite
257	Calcite, CaMg	Illite, Chlorite, Détritique, Aragonite, Goethite
265	Calcite, CaMg, Goethite	Illite, Chlorite, Détritique, Manganite
315	Calcite, CaMg, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Aragonite, Goethite
320	Calcite, CaMg, Quartz, Détritique, Illite, Chlorite	Aragonite, Dolomite, Kaolinite
325	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite, Aragonite	CaMg, Dolomite
330	Calcite, Composés MC, Goethite, Hématite	Chlorite, CaMg, Aragonite
336	Calcite, CaMg, Oxydes de Mn probables	Goethite, Quartz, Aragonite
340	Calcite, Goethite	Hématite, Quartz, Détritique, Aragonite, CaMg
373	Quartz, Calcite, Illite, Chlorite, Détritique, CaMg	Goethite, Hématite, Dolomite, Oxydes de Mn (?)
389	Calcite, Quartz, Illite, Chlorite, Détritique, CaMg	Kaolinite, Dolomite, Aragonite
410	Quartz, Détritique, Calcite, Illite, Chlorite, CaMg	Aragonite, Dolomite, Kaolinite
418	Quartz, Calcite, Détritique, Illite, Chlorite	Goethite, Hématite, CaMg, Dolomite, Kaolinite
427	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	CaMg, Aragonite, Dolomite, Pyrite (?)
443	Quartz, Calcite, CaMg, Aragonite, Détritique	Illite, Chlorite, Dolomite
450	Aragonite, Quartz, Calcite, Détritique, CaMg	Illite, Chlorite, Goethite, Anhydrite
455	Aragonite, Quartz, Détritique, Calcite, Illite	CaMg, Chlorite
461	CaMg, Calcite, Goethite, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Dolomite, Aragonite, Manganite (?)
476	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique, Aragonite	Goethite, Dolomite

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
479	Aragonite, CaMg, Calcite, Quartz	Argiles
506	CaMg, Calcite, Quartz, Illite, Chlorite, Détritique	Goethite, Aragonite, Kaolinite, Dolomite
519	Calcite, CaMg, Quartz, Illite, Chlorite	Goethite, Dolomite, Kaolinite, Anhydrite
525	CaMg, Quartz, Calcite, Détritique	Hématite, Illite, Smectite, Chlorite
535	Quartz, Goethite, CaMg, Calcite, Illite, Chlorite, Détritique	Aragonite, Dolomite, Anhydrite
560	CaMg, Calcite, Quartz, Détritique, Illite, Chlorite	Aragonite, Dolomite
578	Calcite, CaMg, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Goethite, Dolomite, Kaolinite
585	CaMg, Calcite, Quartz, Oxydes de Mn + ou – amorphes probables	Hématite, Illite, Chlorite (?), Kaolinite (?)
609	Quartz, Détritique, Calcite, Illite	Aragonite, Chlorite, Dolomite, CaMg, Anhydrite
621	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Dolomite	Goethite, Détritique, Aragonite
629	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	CaMg, Dolomite, Aragonite, Anhydrite
639	Quartz, Goethite, Détritique, Calcite	Illite, Chlorite, Aragonite, CaMg
646	Illite, Quartz, Détritique, Chlorite, Calcite	CaMg, Aragonite, Dolomite, Anhydrite
653	CaMg, Calcite, Quartz, Illite, Chlorite, Détritique	Dolomite, Kaolinite (?)
664	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	CaMg, Goethite, Dolomite
672	Quartz, Détritique, Calcite, Illite, Chlorite	CaMg, Anhydrite, Dolomite
677	Quartz, Détritique, Calcite, Illite, Chlorite	Anhydrite, Dolomite, CaMg
681	Quartz, Calcite, CaMg, Dolomite, Illite, Chlorite, Détritique	Anhydrite, Kaolinite
684	Quartz, Détritique, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite	Kaolinite, Dolomite, Anhydrite
691	Quartz, Calcite, CaMg, Goethite, Détritique	Illite, Chlorite, Kaolinite, Dolomite
694	Quartz, Détritique, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite	Kaolinite, Dolomite, Anhydrite
697	Quartz, Détritique, Calcite, Illite, Chlorite	Goethite, Dolomite, CaMg, Anhydrite
704	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Dolomite, Kaolinite
715	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	Goethite, CaMg, Dolomite, Kaolinite
730	Quartz, Illite, Chlorite, Détritique, Calcite, CaMg	Dolomite, Goethite, Kaolinite, Anhydrite
732	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	CaMg, Dolomite, Anhydrite
734	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	CaMg, Dolomite, Kaolinite (?)
745	*id.*	*id.*
746	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Dolomite, Anhydrite, Kaolinite
751	Quartz, Dolomite, CaMg, Calcite	Illite, Chlorite, Détritique
757	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Goethite, Dolomite
763	Quartz, Détritique, Illite, Calcite, CaMg, Chlorite	Dolomite, Anhydrite, Kaolinite (?)
775	Oxy-hydroxydes de Mn, Quartz, Calcite, CaMg	Goethite (?), Argiles
777	Quartz, Calcite, CaMg, Goethite	Illite, Chlorite, Détritique, Dolomite, Manganite
792	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	Anhydrite, Dolomite, Aragonite, CaMg
799	Quartz, Goethite, Calcite	CaMg, Illite, Chlorite, Détritique, Manganite
816	Quartz, Calcite, CaMg, Détritique, Illite, Chlorite	Goethite, Anhydrite, Dolomite
837	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite, CaMg	Aragonite, Dolomite, Anhydrite
845	Quartz, Calcite, CaMg	Illite, Chlorite, Détritique, Dolomite
851	Quartz, Calcite, Détritique, CaMg, Illite, Chlorite	Aragonite, Dolomite, Kaolinite
857	Goethite, Quartz, Calcite, CaMg	Détritique, Illite, Chlorite, Dolomite
871	Quartz, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Goethite, Dolomite, Anhydrite
878	Quartz, Détritique, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite	Aragonite, Dolomite, Hématite
890	Quartz, Calcite, CaMg	Illite, Chlorite, Goethite, Dolomite
893	Oxydes + ou – amorphes, Quartz, Goethite, Calcite, CaMg	Illite, Chlorite, Détritique, Manganite
900	Illite, Chlorite, Détritique, Quartz, Calcite, CaMg	Aragonite, Dolomite, Anhydrite
909	Quartz, Illite, Chlorite, Détritique, Calcite	CaMg, Anhydrite
919	Goethite	Quartz, Calcite, CaMg, Détritique
922	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite, CaMg	Dolomite, Anhydrite
924	Quartz, Détritique, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite	Dolomite, Kaolinite (?)
929	Oxydes + ou – amorphes (oxydes de Mn ?)	Goethite, Quartz, Calcite
953	Quartz, Détritique, Illite, Chlorite, Calcite	CaMg, Dolomite, Kaolinite (?)
956	CaMg, Calcite, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Dolomite (?)
962	*id.*	*id.*

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
969	Quartz, Détritique, Calcite, CaMg, Illite, Chlorite	Kaolinite
984	Calcite, Quartz, CaMg, Illite, Chlorite, Détritique	Dolomite, Kaolinite
987	Calcite, CaMg, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Dolomite, Kaolinite, Goethite
1021	CaMg, Calcite, Quartz, Illite, Chlorite	Détritique, Dolomite, Kaolinite
1106	*id.*	*id.*
1176	*id.*	*id.*
1257	*id.*	*id.*
1297	*id.*	*id.*
1337	*id.*	*id.*

MD 81399 : Atlantis II, bassin ouest.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Smectite, Blende, Chalcopyrite	Goethite, Quartz
8	Blende, Pyrite, Smectite, Quartz	Goethite
30	Smectite, Blende, Pyrite, Goethite, Quartz	Calcite
60	Smectite, Blende	Chalcopyrite, Quartz, Rhodocrosite
82	Mnsidérite	Quartz
112	Pyrite, Blende, Gypse	Marcassite (?), Chalcopyrite, Quartz, Mnsidérite
138	Céladonite, Smectite	Goethite
168	Mnsidérite, Goethite	
172	Goethite	Quartz, Mnsidérite
180	Mnsidérite, Goethite, Hématite, Oxydes de Mn + ou – amorphes probables	
187	Goethite	Magnétite, Mnsidérite, Quartz
203	Goethite	Hématite
225	Todorokite, Manganite, Goethite	
243	Goethite	Hématite
261	Todorokite, Manganite, Goethite	
270	Oxydes de Mn + ou – amorphes probables, Goethite	Todorokite, Mnsidérite
280	Goethite	
317	Mnsidérite, Rhodocrosite, Goethite MC	Quartz, Détritique
351	Goethite, Mnsidérite, Pyrite	Quartz, Détritique, Calcite
371	Quartz, Détritique, Glauconie, Chlorite	Kaolinite, Dolomite, Anhydrite
380	Composés amorphes probables	Quartz
404	Calcite, Quartz, Blende	Chlorite, Illite, Smectite
407	Mnsidérite, Quartz	Pyrite, Blende, Chlorite, Illite
410	Mnsidérite, Glauconie	
420	Mnsidérite, Glauconie	Quartz, Détritique
450	Mnsidérite	Glauconie
458	Goethite, Mnsidérite	
462	Smectite BC	
482	Rhodocrosite, Mnsidérite, Glauconie	Quartz, Détritique
496	Hématite, Goethite	Quartz
497	Manganite	
500	Manganite, Todorokite	
502	Goethite	
526	Mnsidérite, Smectite MC	Quartz, Calcite
538	Smectite, Céladonite	
544	Mnsidérite, Calcite, CaMg	Quartz, Détritique, Goethite, Chlorite
546	Mnsidérite, Oxydes de Mn + ou – amorphes probables, Calcite, CaMg	Quartz
552	Blende, Pyrite, Chalcopyrite, Calcite, Mnsidérite	Quartz, Détritique, Dolomite

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
567	Blende, Pyrite, Chalcopyrite	Calcite, Dolomite, Mnsidérite, Quartz
599	*id.*	Mnsidérite, Quartz, Goethite
622	Mnsidérite, Smectite, Quartz, Détritique	Calcite, CaMg, Pyrite
645	Mnsidérite, Glauconie	
654	Pyrite, Glauconie	Mnsidérite, Quartz, Détritique
674	Mnsidérite, Blende, Pyrite, Chalcopyrite, Goethite	Quartz, Détritique, Smectite
682	Glauconie, Mnsidérite, Goethite (?) TMC	Quartz, Calcite
709	Glauconie	Pyrite, Mnsidérite, Calcite
718	Mnsidérite	Quartz, Détritique
738	Glauconie, Pyrite	
752	Blende, Pyrite, Chalcopyrite	Calcite, Mnsidérite, Gypse, Quartz
792	Calcite, Quartz	Dolomite, Smectite
805	Quartz, Pyrite, Calcite	Dolomite, Détritique, CaMg
820	Mnsidérite, Calcite	Quartz, Goethite
828	Goethite, Mnsidérite	Quartz, Calcite
839	Quartz, Sidérite	Calcite
840	Quartz, Mnsidérite, Maghémite (?), Goethite	Smectite
863	CaMg, Calcite, Quartz, Aragonite	Mnsidérite, Détritique, Chlorite, Illite
868	CaMg, Aragonite, Quartz	Smectite
890	CaMg, Calcite, Quartz, Illite, Chlorite	Mnsidérite, Dolomite, Détritique
893	Quartz, Calcite, Détritique, Dolomite	Illite, Kaolinite
894	Calcite, CaMg, Quartz, Chlorite	Illite, Mnsidérite, Détritique
895	Quartz, Calcite, Pyrite, Détritique, Chlorite	Illite, CaMg, Kaolinite
897	Quartz, Calcite, CaMg, Dolomite, Détritique, Chlorite	Kaolinite, Illite
900	Lépidocrocite	Goethite, Détritique, Quartz, Calcite, CaMg
944	Lépidocrocite, CaMg, Calcite, Quartz	Détritique, Illite

MD 81403 : Atlantis II, bassin est.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
61	Smectite	Quartz, Blende, Mnsidérite, Calcite
89	Smectite	Blende
122	Composés + ou – amorphes	Goethite
147	*id.*	Quartz
192	Quartz, Blende, Smectite, Calcite	Mnsidérite, Glauconie
286	Calcite, Smectite	Blende, Quartz
342	Calcite, Blende	Smectite, Glauconie, Quartz
451	Smectite, Composés + ou – amorphes probables, Blende	Calcite, Quartz
487	Glauconie, Smectite, Pyrite, Sidérite	Blende, Calcite, Détritique, Goethite
509	Mnsidérite, Glauconie	
514	Composés amorphes probables, Smectite, Sidérite	Quartz, Détritique, Calcite
555	Mnsidérite, Goethite TMC	Quartz, Smectite
569	Chlorite, Smectite	
586	Goethite	
598	Goethite	
609	Goethite, Rhodocrosite	Quartz, Détritique
616	Calcite, CaMg, Rhodocrosite, Quartz, Détritique	Illite, Blende (?)
622	Calcite, Quartz, Détritique, CaMg, Chlorite	Goethite, Aragonite, Todorokite (?)
635	Goethite, Rhodocrosite	Quartz, Détritique, Smectite, Calcite, CaMg
648	Glauconie, Calcite	Quartz, Détritique, Rhodocrosite (?)
781	Glauconie, Smectite	Mnsidérite
826	Mnsidérite	Quartz, Kaolinite, Détritique

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
842	Blende, Pyrite, Chalcopyrite, Mnsidérite	Calcite, Quartz, Détritique
885	Calcite, Quartz, Mnsidérite, Glauconie, Détritique	Pyrite, Dolomite, Chlorite
907	Blende, Pyrite, Mnsidérite, Chalcopyrite, Quartz	Détritique, Chlorite, Illite
933	Mnsidérite	Quartz, Pyrite, Détritique
937	Blende, Pyrite, Sidérite, Mnsidérite	Quartz, Chalcopyrite. Détritique
965	Smectite	Mnsidérite, Pyrite, Quartz
984	Mnsidérite, Gypse, Blende, Pyrite	Calcite, Quartz, Calcite, Chlorite
986	Goethite	Smectite
1034	Mnsidérite	Pyrite
1041	*id.*	*id.*
1052	Blende, Pyrite, Mnsidérite, Chalcopyrite	Calcite, Quartz, Détritique, Chlorite, Illite
1075	Calcite, Quartz, CaMg	Détritique, Chlorite, Illite
1103	Goethite	
1109	Goethite	
1125	Lépidocrocite	Quartz, Goethite
1133	Quartz, Calcite, Pyrite, Détritique	Aragonite, Dolomite, Illite, Mnsidérite
1157	Quartz, Calcite, Pyrite, Détritique	Chlorite, Illite, Dolomite, Mnsidérite
1177	Sidérite, Goethite	
1200	Goethite	
1280	Goethite	Mnsidérite
1345	CaMg, Aragonite	Quartz, Détritique
1355	CaMg, Calcite, Quartz,	Aragonite, Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite
1368	Calcite, CaMg, Quartz, Goethite	Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite
1421	Quartz, Calcite, CaMg, Goethite, Détritique, Chlorite, Illite	Mnsidérite, Kaolinite
1433	Calcite, CaMg, Quartz, Chlorite, Illite	Détritique, Kaolinite
1458	Goethite	Hématite
1467	Calcite, CaMg, Quartz, Chlorite, Illite	Goethite, Détritique, Blende (?)
1488	CaMg	Quartz, Ankérite, Détritique
1544	Calcite, CaMg, Quartz, Dolomite, Détritique	Chlorite, Illite, Kaolinite
1555	Calcite	Quartz, Détritique, Rhodocrosite, Smectite

MD 81404 : Atlantis II, Nord Passage.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
40	Goethite MC, Smectite, Composés amorphes probables	Mnsidérite, Quartz
140	Smectite, CaMg	Quartz, Mnsidérite
210	Smectite, Blende	Quartz, Calcite, Pyrite, Amorphes probables
278	Smectite, Chlorite	
320	Mnsidérite, Goethite, Composés amorphes probables	Quartz, Smectite
350	Goethite BC	Mnsidérite, Barytine
390	Goethite MC, Mnsidérite	Quartz, Sidérite, Lépidocrocite, Barytine
435	Rhodocrosite, Goethite MC	Smectite, Quartz
460	Mnsidérite, Smectite, Composés amorphes probables	Quartz, Calcite
480	Mnsidérite, Smectite MC	Quartz, Goethite
525	Mnsidérite, Smectite ou Silicates de fer MC	Quartz, Qxydes de Mn (?)
560	Smectite, Silicates de fer MC	Quartz, Mnsidérite
585	Pyrite, Chalcopyrite	Quartz, Smectite
700	Goethite	Mnsidérite, Smectite
825	Anhydrite	Gypse, Pyrite, Quartz

MD 81408 : bassin de Wando.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Aragonite, Calcite, CaMg	Quartz, Détritique
10	Todorokite, Manganite	Smectite
26	Glauconie	Smectite
36	Calcite, CaMg, Rhodocrosite	Quartz, Smectite
53	Goethite	
65	Aragonite, Quartz, Calcite, CaMg	Smectite
84	Goethite	Mnsidérite
95	Mnsidérite, Calcite, CaMg, Aragonite, Quartz	Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite
121	CaMg, Quartz	Calcite, Sidérite, Aragonite, Détritique
197	Calcite, CaMg, Quartz, Chlorite	Illite, Kaolinite, Détritique, Sidérite
207	CaMg, Calcite, Quartz	Smectite, Chlorite, Illite
281	Calcite, CaMg, Quartz, Détritique	Chlorite, Illite, Kaolinite, Aragonite
291	Goethite	
298	CaMg, Calcite, Quartz	Chlorite, Illite, Kaolinite, Aragonite, Détritique
311	Calcite, CaMg, Quartz, Détritique	Aragonite, Chlorite, Illite, Kaolinite, Hématite
317	CaMg, Calcite, Quartz, Détritique	Chlorite, Illite
329	Calcite, CaMg, Quartz	Chlorite, Illite, Kaolinite, Détritique
342	Calcite, CaMg, Quartz	Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite
353	Calcite, Quartz, Dolomite, Smectite	Pyrite, Détritique, Chlorite, Illite
356	Calcite, Quartz, Ankérite	Pyrite, Smectite, Chlorite, Illite
379	Calcite	Quartz, Smectite, Chlorite, Illite, Hématite
393	Calcite, CaMg, Quartz	Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite, Hématite
410	Calcite, Ankérite, Quartz	Pyrite, Smectite, Chlorite, Illite
434	CaMg, Quartz, Hématite, Smectite	Détritique, Chlorite, Illite, Dolomite
448	CaMg, Smectite, Quartz	Blende, Hématite, Chlorite, Illite
457	CaMg, Oxydes de Mn probables, Smectite, Hématite	Quartz
480	Smectite TBC, CaMg, Hématite	Oxydes de Mn amorphes probables
489	Calcite, Hématite, Quartz	Smectite, Chlorite, Illite, Détritique
499	CaMg, Smectite, Hématite	Oxydes de Mn amorphes possibles
518	CaMg, Hématite	Chlorite, Oxydes de Mn amorphes possibles
525	Calcite, Hématite, Kaolinite	Smectite, Détritique

MD 81409 : Atlantis II, bassin sud-ouest.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Smectite MC, Goethite MC	Hématite
10	Smectite MC, Pyrite	Blende, Quartz, Calcite
30	Blende, Pyrite, Smectite	Calcite, Quartz
37	Blende, Smectite MC	
60	Hématite, Smectite, Blende	Chalcopyrite
64	Glauconie, Pyrite	Goethite
68	Lépidocrocite, Smectite	
105	Smectite, Blende, Rhodocrosite, Calcite, Quartz	Mnsidérite
132	Blende, Smectite, Pyrite	Chalcopyrite, Calcite, Mnsidérite, Détritique
186	Blende, Pyrite, Smectite	Quartz, Détritique, Mnsidérite
240	Glauconie	Pyrite, Blende
255	Pyrite, Blende, Smectite MC	Chalcopyrite, Détritique
291	Blende, Pyrite, Smectite MC	Chalcopyrite

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
295	Blende, Pyrite, Smectite MC	Quartz, Chalcopyrite
310	Blende, Pyrite	Chalcopyrite
320	Blende, Pyrite, Chalcopyrite	Quartz
338	*id.*	Quartz, Illite
356	Glauconie	Goethite
360	Smectite, Céladonite	
388	Anhydrite, Mnsidérite, Gypse, Goethite	Quartz, Détritique, Pyrite (?)
402	Anhydrite, Mnsidérite, Gypse, Pyrite	Quartz, Kaolinite
425	Mnsidérite, Anhydrite, Goethite	Pyrite
426	Mnsidérite, Anhydrite, Goethite, Hématite	Magnétite
440	Goethite	Mnsidérite
451	Goethite	Calcite
488	Hématite	Calcite

MD 81412 : Néréus.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
1	Calcite, CaMg	Quartz, Goethite
5	*id.*	*id.*
18	Calcite, Todorokite MC, CaMg	Goethite, Détritique, Quartz, Kaolinite, Chlorite
31	Calcite, Oxydes de Mn amorphes probables, CaMg	Quartz, Goethite
32	Calcite, Goethite, CaMg, Oxydes de Mn probables	Chlorite, Illite, Kaolinite, Aragonite, Détritique
42	Quartz, Détritique, Calcite, Pyrite, CaMg	Chlorite, Illite, Kaolinite, Aragonite, Smectite
49	Aragonite, Calcite, CaMg	Quartz, Détritique, Dolomite
57	Calcite, CaMg, Oxydes de Mn (Todorokite ?)	Quartz
63	Aragonite, Calcite, CaMg	Goethite, Quartz, Détritique, Dolomite
78	Goethite	Magnétite, Dolomite, Quartz, Détritique
92	Calcite, CaMg, Quartz	Aragonite, Chlorite, Illite, Kaolinite, Détritique
107	Hématite, Magnétite, Calcite, CaMg, Quartz	Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite, Mnsidérite
113	Calcite, Smectite	
115	Smectite, Calcite	Chlorite, Illite, Kaolinite, Détritique, Quartz
133	Calcite, Smectite	
140	Calcite, Smectite, Quartz	Chlorite, Illite, Kaolinite, Mnsidérite, Détritique
147	CaMg, Smectite	Quartz, Pyrite
156	Smectite, Calcite, Quartz, Pyrite	Mnsidérite, Détritique, Chlorite, Illite, Kaolinite
187	CaMg, Smectite, Hématite, Magnétite	Chlorite, Illite, Détritique
220	Dolomite, Hématite, Magnétite, Smectite, Calcite, CaMg, Pyrite	Illite, Quartz, Kaolinite, Mnsidérite
225	Hématite	Magnétite, Mnsidérite, Calcite
230	Calcite, Smectite, Quartz, Dolomite	Détritique, Chlorite, Illite, Mnsidérite
234	Calcite, Quartz	Smectite
244	Hématite, Smectite	Calcite, CaMg, Quartz, Dolomite
260	Calcite, CaMg, Magnétite, Smectite	Hématite
272	Magnétite, Pyrite, Blende, Chalcopyrite, Calcite	Chlorite, Illite, Kaolinite, Mnsidérite
286	Calcite	Quartz, Magnétite, Hématite, Smectite
296	Calcite, Smectite, Quartz	Illite, Chlorite, Détritique, Mnsidérite

ANNEXE 8

ANALYSES INFRAROUGES

Le niveau cumulé correspond à la cote en centimètres de l'échantillon dans la colonne sédimentaire. Les composants sont indiqués par ordre d'importance.

Composant : TBC, très bien cristallisé ; BC, bien cristallisé ; MC, mal cristallisé.
Mnsidérite : Manganosidérite.
CaMg : Calcite magnésienne.

MD 81399 : Atlantis II, bassin ouest.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
8	Glauconie ou Nontronite Fe	Carbonates
30	*id.*	*id.*
82	Mnsidérite, Phyllite Fe	*id.*
112	Silice amorphe, Sulfures	Gypse
138	Glauconie BC	*id.*
172	Goethite	Quartz, Mnsidérite
180	Goethite MC (Limonite)	Lépidocrocite (?)
187	Goethite BC	Magnétite
203	Goethite BC, Hématite	
223	Oxy-hydroxydes de Mn	
261	Oxy-hydroxydes de Mn	
280	Goethite	
371	Smectite Fe, Kaolinite, Chlorite	Quartz
380	Silicates de fer amorphes	Carbonates
407	Mnsidérite, Glauconie ou Nontronite	Quartz, Kaolinite
410	Nontronite MC	Gypse, Mnsidérite
420	Glauconie ou Smectite, Mnsidérite	Gypse
450	Glauconie ou Nontronite	Mnsidérite, Gypse
458	Goethite, Oxy-hydroxydes MC	
482	Glauconie BC, Mnsidérite	
496	Hématite, Goethite	
500	Oxydes de Mn, Goethite	
502	Goethite	
544	Mnsidérite, Calcite, Oxydes de Mn	Quartz
552	Mnsidérite, Silice amorphe, Calcite	
567	Silice amorphe, Pyrite, Carbonates	
599	Silice amorphe, Pyrite	
645	Glauconie BC, Mnsidérite ou Sidérite	
654	Glauconie	Gypse
682	Glauconie BC, Oxy-hydroxydes	Sulfates
709	Glauconie BC	Gypse
828	Goethite	Mnsidérite
840	Magnétite	Quartz, Carbonates
900	Lépidocrocite BC, Mnsidérite	

MD 81403 : Atlantis II, bassin est.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
61	Glauconie, Silicates de fer amorphes	Calcite, Détritique
122	Silicates de fer amorphes, Glauconie, Goethite	Détritique, Calcite
147	Silicates et Oxy-hydroxydes de fer amorphes	Goethite, Gypse
192	Silicates de fer amorphes, Glauconie	Calcite, Détritique
286	Silicates de fer amorphes	Sulfates, Carbonates, Glauconie
342	Glauconie	Calcite, Sulfates
451	Glauconie, Gypse	Calcite
487	Glauconie BC, Gypse	Calcite
514	Glauconie, Silicates amorphes, Gypse	Carbonates
555	Glauconie, Silicates amorphes, Goethite	Carbonates, Gypse
569	Goethite BC, Silicates de fer amorphes	Dolomite, Gypse
598	Goethite BC	Gypse
622	Calcite, Dioxyde de Mn, Goethite	
635	Goethite MC, Silicates de fer amorphes	Calcite
648	Glauconie TBC	Gypse, Calcite
781	Glauconie TBC	Gypse, Quartz, Goethite
826	Mnsidérite, Dioxyde de Mn	Silicates amorphes, Chlorite
842	Silice amorphe, Pyrite	Calcite, Mnsidérite
885	Nontronite, Calcite, Mnsidérite	Quartz, Goethite, Silicates amorphes, Pyrite (?)
907	Silice amorphe	Pyrite, Gypse, Carbonates
937	Silice amorphe	Sulfures, Mnsidérite, Sulfates
965	Glauconie	Sulfates, Carbonates
984	Goethite BC, Glauconie	Gypse, Carbonates
1052	Silice amorphe, Sulfures	Mnsidérite, Sulfates
1075	Calcite, Dioxyde de Mn	Kaolinite, Calcite, Quartz
1109	Goethite TBC	
1125	Lépidocrocite	Carbonates
1133	Calcite, Quartz, Pyrite	Détritique
1157	Silicates amorphes, Calcite	Quartz, Sulfures
1177	Lépidocrocite, Goethite	Carbonates, Sulfates
1200	Goethite TBC	
1280	Goethite TBC	
1355	Calcite, Silicates amorphes	Kaolinite, Calcite, Quartz
1368	Dioxyde de Mn, Goethite, Calcite	
1421	Oxy-hydroxydes de Fe et Mn, Silicates de fer amorphes, Calcite	Quartz
1433	Calcite, Silicates et Oxy-hydroxydes amorphes	Quartz
1458	Goethite	Hématite
1467	Calcite, Oxy-hydroxydes et Silicates amorphes	Smectite
1544	*id.*	Quartz

MD 81404 : Atlantis II, Nord Passage.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
20	Silicates amorphes, Nontronite	Quartz, Détritique, Mnsidérite, Sulfates
40	Glauconie, Oxy-hydroxydes amorphes	Carbonates, Sulfates, Goethite
60	Silicates amorphes, Glauconie, Nontronite, Mnsidérite	Quartz, Anhydrite
80	Silicates amorphes, Glauconie, Mnsidérite, Montmorillonite	Quartz, Anhydrite
100	*id.*	*id.*
120	Silicates amorphes ou Glauconie MC, Calcite	Sulfates, Quartz
140	Silicates amorphes, Glauconie	Calcite, Sulfates
210	Silicates amorphes, Glauconie, Carbonates	Sulfates
278	Glauconie	Sulfates, Carbonates
320	Glauconie MC, Silicates amorphes, Oxy-hydroxydes de fer	Sulfates, Carbonates
350	Goethite (Limonite)	Quartz, Argile ferrifère, Mnsidérite
390	Goethite, Barytine	Quartz, Mnsidérite, Lépidocrocite (?)
435	Goethite, Glauconie, Silicates amorphes	Mnsidérite, Quartz, Gypse
460	Glauconie, Silicates amorphes	Mnsidérite ou Rhodocrocite
480	Silicates amorphes, Glauconie, Céladonite (?)	Quartz, Gypse, Mnsidérite
525	Silicates amorphes, Glauconie	Quartz, Gypse, Mnsidérite, Goethite
560	Silicates amorphes, Glauconie MC	Mnsidérite, Gypse
585	Silice amorphe, Argile ferrifère	Pyrite, Gypse
700	Goethite	Mnsidérite, Smectite
825	Anhydrite	Gypse, Pyrite, Quartz

MD 81408 : bassin de Wando.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Aragonite	Silicates
10	Manganite, Todorokite ou Vernadite	Goethite
26	Glauconie	Carbonates, Sulfates
53	Goethite (Limonite)	
84	Goethite (Limonite)	
95	Aragonite, Calcite, Silicates de fer amorphes, Smectite ferrifère BC	
121	Calcite ferrifère, CaMG, Silicates de fer amorphes, Smectite ferrifère BC	
197	Calcite ferrifère ou CaMg, Smectite, Illite	Kaolinite, Quartz
281	Calcite ferrifère ou CaMg, Smectite, Illite, Goethite	Quartz
298	Calcite ferrifère ou CaMg, Smectite, Illite, Silicates amorphes	
311	Calcite ferrifère ou CaMg, Illite	
329	Calcite ferrifère ou CaMg, Illite, Silicates amorphes	Quartz, Goethite, Smectite, Kaolinite
342	Calcite ferrifère ou CaMg, Illite	
353	Calcite ferrifère ou CaMg, Silicates amorphes	Smectite
434	CaMg, Hématite	Silicates amorphes
448	Silicates amorphes	Argiles ferrifères
480	Hématite, Calcite	
489	Calcite ferrifère ou CaMg, Hématite, Smectite	
499	Calcite ferrifère ou CaMg, Hématite	
525	Calcite ferrifère ou CaMg, Chlorite	

MD 81409 : Atlantis II, bassin sud-ouest.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
0	Nontronite ou Glauconie, Gypse	Calcite, Quartz
30	Nontronite, Gypse	Calcite
64	Nontronite	Gypse
68	Nontronite, Lépidocrocite	Gypse
105	Nontronite	Mnsidérite, Gypse
132	Nontronite, Mnsidérite	Calcite, Détritique
186	Nontronite MC, Gypse	Carbonates
220	Nontronite, Gypse	Détritique
240	Nontronite ferrifère	Gypse
255	Nontronite, Gypse	Détritique
295	*id.*	*id.*
320	Goethite, Hydroxyde de Zn	
338	Goethite, Hydroxyde de Zn, Gypse	
356	Glauconie, Céladonite TBC	Sulfures
402	Anhydrite, Mnsidérite	Goethite
425	Limonite, Anhydrite	Carbonates
440	Goethite	Carbonates, Anhydrite
488	Hématite	Silicates

MD 81412 : Néréus.

Niveau cumulé	Composants majeurs	Composants mineurs
5	Calcite, Oxy-hydroxydes de Mn, Carbonates	Silicates amorphes, Kaolinite, Quartz
19	*id.*	
42	Calcite, Maghémite	Kaolinite
78	Goethite	Carbonates
92	Calcite, Silicates de fer amorphes, Oxy-hydroxydes de Mn	Kaolinite, Quartz
107	Hématite, Carbonates, Silicates de fer amorphes	Quartz
115	CaMg, Maghémite	Détritique
140	CaMg, Smectite MC	Quartz
156	Maghémite, CaMg	
187	*id.*	
225	Hématite	
244	Oxydes de fer BC, Maghémite, Calcite	
260	Maghémite	

ANNEXE 9

CAROTTE MD 81408 (BASSIN DE WANDO)

Étude au MEB et à la sonde attelée des éléments carbonatés de la fraction supérieure à 20 microns.

Sect.	Prof. cm	Composants majeurs et moyennement abondants	Objet analysé	Ca	Fe	Mn	Mg	Si	% fraction > 20 µm	Remarques
II 4	121	– Amas carbonatés de couleur claire – Détritique (Quartz, Feldspaths) – Foraminifères	Amas calcitique	-	-	-	-	-	26,55	
II 80	196	– Amas carbonatés colorés en rouille – Détritique (Quartz, Feldspaths) – Verre volcanique – Foraminifères	Calcite Mg	-	-	-	-	-	9,66	
III 27	281	– Amas carbonatés colorés en rose-rouille – Détritique grossier – Foraminifères	Assemblage de cristaux de Calcite Mg	-	-	-	-	-	65,29	
III 58	312	*id.* III 27	Aragonite	-	-	-	-	-	28,88	
III 76	330	– Amas carbonatés de couleur claire – Détritique – Foraminifères	Calcite Mg	66	0	4	27	4	6,45	Nannos recristallisés
			Amas carbonatés	89	0	0	7	5		
III 88	341	*id.* III 76	Amas carbonatés	97	0	0	0	3	3,51	
III 138	390	– Amas carbonatés de couleur jaune – Détritique – Foraminifères	Amas carbonatés	65	tr	tr	21	5	1,29	
			Coccosphère	72	-	-	5	7		
IV 34	434	– Amas carbonatés de couleur rouge (plaquettes) – Détritique relativement fin	Forams recrist.	41	10	37	0	11	14,30	Cristaux dans loge
			Plaquettes	57	6	31	0	6		
			id.	60	3	28	6	0		
			id.	65	5	30	0	0		
			Forams	60	4	30	6	0		
			Mangano-sidérite	"	"	"	"	"		
			Plaquettes	53	4	29	7	6		
			id.	53	5	31	5	5		
			Forams	66	3	31	0	0		
IV 80	480	– Amas carbonatés fortement colorés en brun (plaquettes)	Plaquettes	62	5	29	0	4	15,69	
			Forams très recristallisés	69	3	26	0	0		

Sect.	Prof. cm	Composants majeurs et moyennement abondants	Objet analysé	Ca	Fe	Mn	Mg	Si	% fraction > 20 µm	Remarques
IV 90	490	*id.* IV80	Plaquette	84	0	14	0	2	12,30	
			id.	88	0	12	0	0		
			id.	89	0	11	0	0		
			Forams	90	0	10	0	0		
IV 99	499	– Amas carbonatés	Amas	54	8	13	0	4	37,81	
		– Foraminifères	*id.*	53	11	12	0	3		
		– Détritique grossier	*id.*	62	2	10	0	1		
IV base	525	– Amas carbonatés colorés en rouge	Amas	28	27	7	4	0	44,91	Imprégnation d'hématite et de silicates
			id.	19	18	7	7	23		
		– Foraminifères	*id.*	16	25	11	7	18		

ANNEXE 10

CAROTTE MD 81399 (ATLANTIS II, BASSIN OUEST)

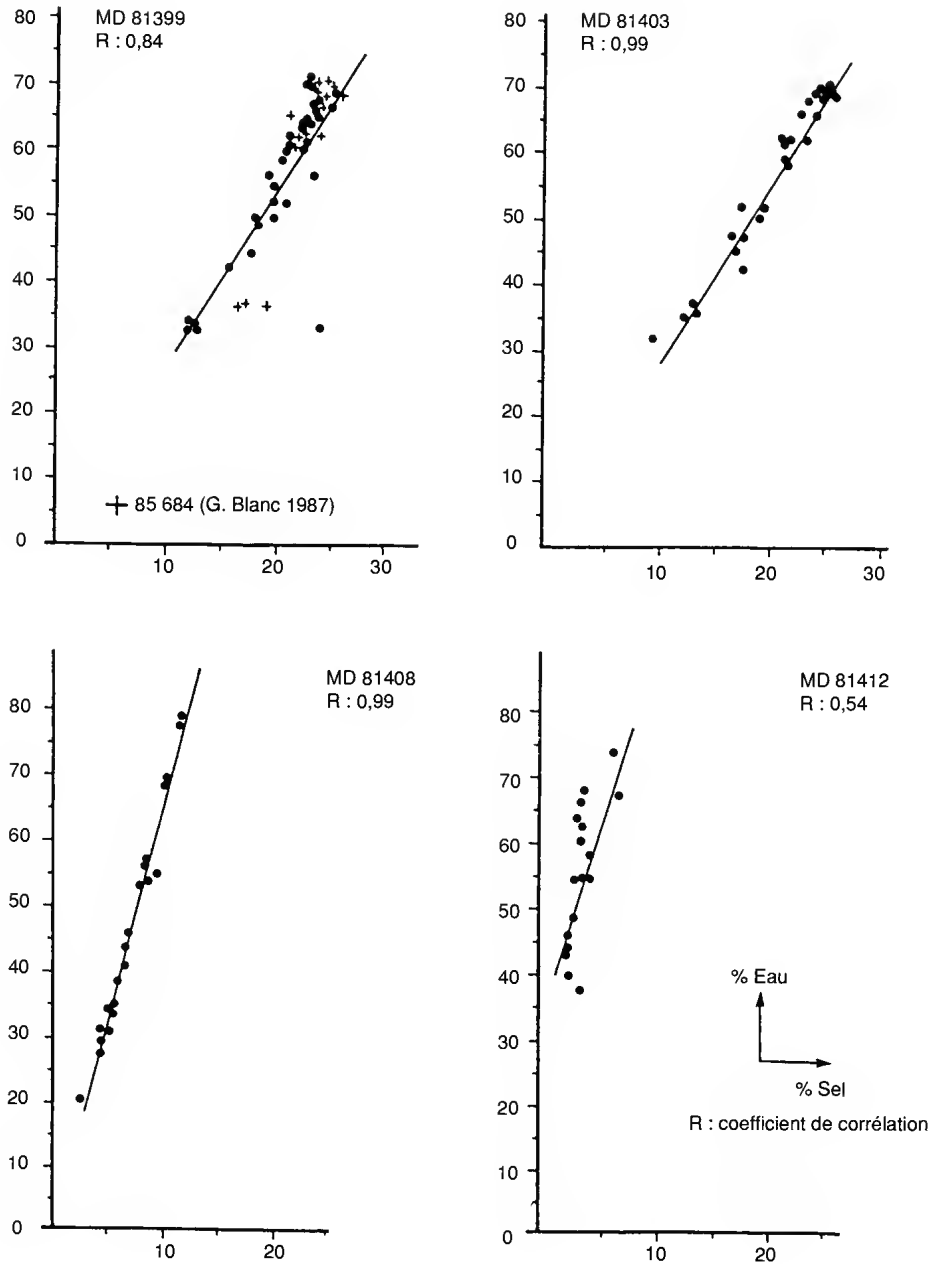
Tableau comparatif des déterminations par spectrométrie infrarouge et diffraction X des composants majeurs silicatés de néoformation.

Gl : Glauconie.
Sm : Smectite.
ab : abondant.
m : moyennement abondant.
tr : traces.

Section		Prof. cm	Faciès	Couleur	Détermination IR	Détermination RX
I	top	0	Boue silicatée sulfurée	brun-rouge	Gl ou Sm (ab)	Sm (ab)
	30	30		brun-rouge	Gl ou Sm (ab)	Sm (ab)
	82	82		marron-vert	Sm (ab)	non détecté
	138	138		vert-brun	Gl (ab)	Gl (ab)
III	71	371	Boue silicatée plus ou moins litée	kaki	Sm (ab)	Gl (ab)
	107	407		brun	Gl ou Sm (ab)	non détecté
	110	410		brun-rouge	Sm (ab)	Gl (ab)
	119	419		vert	Gl ou Sm (ab)	Gl (ma)
IV	25	450		brun-rouge	Gl ou Sm (ab)	Gl (tr)
IV	58	482	Zone litée silicatée inférieure	vert	Gl (ab)	Gl (ab)
V	2	645		jaune-vert	Gl (ab)	Gl (ma)
	81	653		noir	Gl (ab)	Gl (ma)
	110	685		brun-rouge	Gl (ab)	Gl (ab)
	136	708		verdâtre	Gl (ab)	Gl (ab)

ANNEXE 11

CORRÉLATIONS POURCENTAGE EN SELS/POURCENTAGE EN EAU



Le Miocène du bassin de Vence (Alpes-Maritimes, France) : stratigraphie et paléogéographie

Léonard GINSBURG
Laboratoire de Paléontologie, Muséum national d'Histoire naturelle,
8 rue de Buffon, F-75231 Paris cedex 05 (France)

Michel ARNAUD, Christian LARY & Claude MONLEAU
Laboratoire de Stratigraphie et Paléoécologie, Université de Provence, Centre Saint-Charles,
3 place Victor Hugo, F-13331 Marseille cedex 3 (France)

Ginsburg L., Arnaud M., Lary C. & Monleau C. 1998. — Le Miocène du bassin de Vence (Alpes-Maritimes) : stratigraphie et paléogéographie. *Geodiversitas* 20 (2) : 229-238.

RÉSUMÉ
La partie inférieure du Miocène de Vence (Alpes-Maritimes) a éré décrire comme burdigalienne par la macrofaune et aquitanienne par la microfaune. De nouvelles études montrent que ces dépôts débutenr par une molasse aquitanienne, suivie de marnes à microfaune aquitanienne. Cet ensemble est déposé par une mer venant de l'est (bassin padan). Après une discontinuité sédimenraire et recronique importante contemporaine de la dérive du bloc corso-sarde, le secteur de Vence s'ouvre vers la Provence occidentale et voit le dépôt d'un Burdigalien supérieur calcaire à caractère rhodanien. Une dernière avancée marine, tortonienne, clôt la série.

MOTS CLÉS
Miocène, Provence, pectinidés, échinidés, stratigraphie, paléogéographie.

ABSTRACT
The Miocene of the Basin of Vence (Alpes-Maritimes, France): stratigraphy and palaeogeography. The lower part of the Miocene of Vence (Alpes-Maritimes, France), was formerly described as Burdigalian on the basis of the macrofauna and Aquitanian on the basis of the microfauna. A new field survey and palacontological revision show thar the series begins by an Aquiranian molasse recovered by Aquitanian blue marls. These sediments were deposited by an Aquitanian sea, coming from northern Iraly (Padan basin). Subsequently the area was folded, emerged and partly eroded. Then, the upper Burdigalian limestones were deposited by a sea coming from the wesr. The series ends by Tortonian marine conglomerates.

KEY WORDS
Miocene, Provence, pectinids, echinoids, stratigraphy, palaeogeography.

INTRODUCTION

Le Miocène de Vence (Alpes-Maritimes) est connu depuis Tournouër (1877) qui distingua une molasse inférieure surmontée de marnes qu'il plaça dans le Miocène moyen par comparaison avec les marnes du Schlier d'Ottnang en Autriche. Ces attributions d'âge ont été suivies par Guébhard (1900), A. F. de Lapparent (1938), Ginsburg (1960), Mongin (1962). Mais Gohau & Veslin (1960) ont signalé, dans la molasse inférieure et les marnes bleues, une microfaune d'âge aquitanien. Devant cette contradiction sur l'âge de la base de la série de Vence entre les études faites sur la macrofaune et celles faites sur la microfaune, nous avons repris l'étude de la stratigraphie, récolté de nouveaux spécimens et redéterminé l'échinofaune.

HISTORIQUE

À la suite de la réunion de la Société Géologique de France à Nice en 1877, Tournouër distingue dans le Miocène de la région de Vence deux unités :

– À la base, la « molasse jaune de Vence » à *Ostrea lamellosa* Brocchi, *Pecten rotundatus* Lamarck, *Pecten praescabriasculus* Fontannes, *Pecten subbenedictus* Fontannes, *Scutella paulensis* Agassiz, *Amphiope bioculata* Desmoulins, *Echinolampas hemisphoericus* Lamarck var., *Echinolampas* sp., *Echinolampas scutiformis* Leske, *Clypeaster intermedius* Desmoulins, *Clypeaster latirostris* Agassiz var. *vintiensis* Tournouër, *Schizaster scillae* Desmoulins, *Spatangus corsicus* Desmoulins, *Operculina complanata* Basterot, qu'il date du Miocène moyen.

– Au sommet, « la molasse grise de Vence », noirâtre et argileuse, dénommée depuis « marnes bleues de Vence » et qui a alors fourni : *Ostrea cochlear* Poli, *Pecten denidatus* Reuss, *Pecten cristatus* Brocchi, *Pecten haueri* Michelin Tournouër parallélise cette « molasse grise » avec les argiles du Schlier d'Ottnang en Autriche, considérées alors par les géologues autrichiens comme un faciès profond du Miocène moyen.

Tournouër ne désigne par aucun nom d'étage ses molasses jaune et grise de Vence, mais le Miocène moyen correspond à cette époque à l'« Helvétien ». Comme il précise que la molasse jaune est plus ancienne que les couches à *Cardita jouanetti*, et qu'il n'y a pas d'Aquitanien dans la région de Vence, sa molasse jaune ne peut correspondre qu'au Burdigalien. Quant au Schlier d'Ottnang, il est assimilé à l'Helvétien. Les termes de Burdigalien et d'Helvétien seront employés ultérieurement par Guébhard (1901, 1903) pour les deux molasses de Vence.

Guébhard (1900) découvre dans les marnes bleues de Vence une petite faunule qu'il soumet à Depéret, lequel reconnaît en particulier *Ostrea cochlear* Poli, *Pecten denudatus* Reuss, *Pecten* cf. *burdigalensis* Lamarck, *Pecten* cf. *bonifaciensis* Sowerby et il conclut à un âge helvétien.

Au-dessus des marnes, Guébhard signale une barre calcaire renfermant *Pecten restitutensis* Fontannes et *Ostrea boblayei* Deshayes (déterminations Depéret), « espèces caractéristiques de la partie supérieure du Burdigalien de la vallée du Rhône ». Guébhard interprète la superposition de ce Burdigalien sur l'Helvétien comme étant due à des mouvements tectoniques. En 1901, Guébhard signale, dans la molasse burdigalienne au sud-est de Saint-Jeannet, *Pecten tournali* de Serres.

A. F. de Lapparent (1938) reprend l'étude du bassin de Vence. Il découvre dans la molasse inférieure une faune de pectinidés et d'échinidés qu'il considère comme caractéristique du Burdigalien, avec *Pecten rotundatus* Lamarck, *Pecten subbenedictus* Fontannes, *Chlamys pavonacea* Fontannes, *Chlamys praescabriascula* Fontannes et *Chlamys seniensis* Lamarck.

Au-dessus, A. F. de Lapparent retrouve, dans la partie supérieure des marnes bleues (exactement dans le ravin de Malvan, sous la chapelle Saint-Raphaël), une petite faunule qui lui confirme l'âge helvétien de ces marnes. Parmi ces fossiles, on note la présence de *Flabellipecten guebhardi* Depéret *et* Roman.

Ginsburg (1960) a trouvé dans la molasse inférieure différents pectinidés déterminés par D. Mongin : *Chlamys rotundata* Lamarck, *Chlamys* (*Hinnites*) *brussoni* de Serres, *Chlamys northamptoni* Michelin var. *oblita* Michelin, *Chlamys multistriata* Poli var. *substriata* Hoernes, *Chlamys sub-bolgeri* Fontannes et *Flabellipecten*

fraterculus Sowerby, ainsi que des échinodermes, *Clypeaster latirostris* Agassiz, *Clypeaster* cf. *intermedius* Desmoulins, *Echinolampas savini* Lambert et *Echinolampas guebhardi* Lambert. Sur la base de ces fossiles, Ginsburg & Mongin (1956) ont considéré la molasse inférieure de Vence comme d'âge burdigalien.

Au-dessus, Ginsburg a trouvé dans les quelques mètres à faciès sableux surmontant les marnes bleues : *Chlamys* cf. *malvinae* Dubois, *Haustator* cf. *tricintus* Borson et *Clypeaster marginatus* Lamarck.

Plus haut, dans la barre calcaire signalée par Guébhard et qui surmonte les marnes bleues, il signale une faune de lithothamniées (*Mesophyllum commune* Lemoine, *Lithothamnium glomeratum* Capeder, *Lithothamnium corrallinaeforme* Lemoine, *Lithothamnium capederi* Lemoine, *Lithophyllum prelichenoides* Lemoine) accompagnée de *Gigantopecten latissima* Brocchi var. *nodosiformis* de Serres, *Gigantopecten albina* von Teppen, *Chlamys calaritana* Meneghini, *Flabellipecten planocostatus* Matheron et *Echinolampas* sp. gr. *barcinensis* Lambert. À l'encontre de Guébhard, Ginsburg considère cette barre calcaire comme en superposition stratigraphique normale sur les marnes bleues et lui confère un âge helvétien un peu plus récent.

Au-dessus repose une quarantaine de mètres d'une molasse grossière, chargée de caillouris et contenant encore des niveaux à algues. Parmi les cailloutis, il a récolté *Flabellipecten planocostatus* Matheron, *Gigantopecten latissima* Brocchi var. *nodosiformis* de Serres, *Gigantopecten albina* von Teppen, *Chlamys calaritana* Meneghini, *Chlamys macrotis* Sowerby, *Clypeaster airaghii* Lambert et *Clypeaster latirostris* Lambert. Suivant D. Mongin (1952), il place cette faune au sommet de l'Helvétien.

Enfin, Gohau & Veslin (1960) puis Odebode (1978, 1982) signalent dans la molasse inférieure et dans les marnes de Vence une microfaune d'âge aquitanien.

LA SÉRIE STRATIGRAPHIQUE

On observe de bas en haut :

1. La « molasse » (calcarénite) inférieure, d'une épaisseur variant de 20 à 50 m, qui repose en discordance sur le Jurassique, le Crétacé ou le Nummulitique. Entre Vence et Tourrettes-sur-Loup elle remanie une formation volcanique andésitique. À Biot, cette formation andésitique est très développée et a été datée à 26,2 ± 1,0 Ma par Bellon & Brousse (1971). La molasse comprend de nombreux niveaux conglomératiques et des bancs de calcarénite à stratification oblique. Au nord de Carros, elle contient une barre de cal-

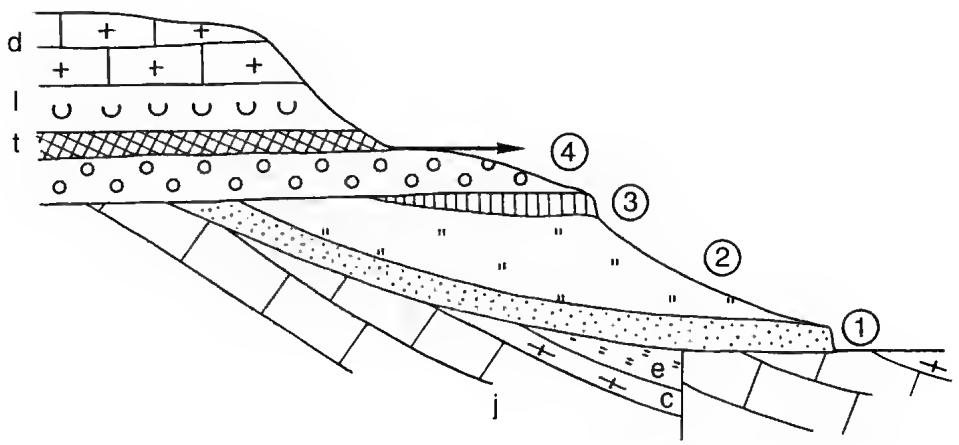


FIG. 1. — Schéma géologique entre Vence et Tourrettes-sur-Loup (à gauche, le Nord ; à droite, le Sud). **c**, Cénomanien ; **d**, Dogger ; **e**, Nummulitique marin ; **j**, Jurassique supérieur (J^{7-9}) ; **l**, Lias ; **t**, Trias ; **1-4**, Miocène ; **1**, molasse calcaire aquitanienne ; **2**, marnes bleues aquitaniennes ; **3**, calcaire à rhodophycées burdigalien ; **4**, molasse caillouteuse serravallienne.

caire à algues (rhodophycées) de 15 m d'épaisseur. À la chapelle Sainte-Colombe à Vence, un niveau marneux a livré à Gohau & Veslin (1960) une microfaune aquitanienne. La macrofaune est constituée en majorité de pectinidés et d'échinidés parmi lesquels principalement *Clypeaster martini* Desmoulins et *Clypeaster scillae* Desmoulins. Les spécimens de clypéastres sont identiques à ceux du niveau 4M du « Massalien » de la Nerthe (Philippe *et al.* 1988). S'agissant des pectinidés, nous n'avons retrouvé ni dans les collections ni sur le terrain les formes signalées uniquement par Guébhard et de Lapparent. Nous nous en tiendrons donc au matériel récolté par L. Ginsburg. Dans ce matériel, *Chlamys multistriata* Poli et *Flabellipecten fraterculus* Sowerby sont connus dans le « Massalien » de la Nerthe (Catzigras 1943), *Chlamys northamptoni* Michelin est inconnu avant l'Aquitanien *s.str.* en Basse-Provence (Demarcq 1990) mais fréquent dans l'Aquitanien d'Italie du Nord, tandis que *Chlamys rotundata* Lamarck, le plus commun des pectinidés de Vence, est totalement inconnu dans le bassin du Rhône mais abondamment représenté dans l'Aquitanien d'Italie du Nord. La faune de pectinidés s'accorde donc bien mieux avec l'Aquitanien qu'avec le Burdigalien, à condition de considérer le bassin de Vence comme ouvert à cette époque sur l'Italie du Nord. La molasse inférieure de Vence est donc bien aquitanienne et des affinités paléontologiques sont partagées avec l'Italie septentrionale, affinités déjà signalées par Depéret & Roman (1902) et A. F. de Lapparent (1938).

2. Au-dessus, 200 m de marnes grises à bleues ont livré principalement de la microfaune. À Vence, plusieurs échantillons, prélevés à la base, dans la partie moyenne et au sommet de la formation, ont été confiés à J. Magné, qui nous a confirmé l'âge aquitanien de ces marnes, avec comme foraminifères planctoniques : *Globigerinoides primordius* Blow *et* Banner, *Globorotalia opima nana* Bolli, *Globigerina* gr. *ciperoensis* Bolli (cette faune indique la N4) ; et comme foraminifères benthiques : *Almaena* cf. *escornebovensis* (Sigal), *Spiroplectammina carinata* (d'Orbigny), *Pullenia* cf. *bulloides* (d'Orbigny), *Brizalina* sp., *Bulimina* sp. Un autre échantillon, confié à R. Anglada, a donné le même âge stratigraphique.

Vers le nord-ouest de Tourrettes, ces marnes se réduisent rapidement à une cinquantaine de mètres, puis disparaissent. La calcarénite inférieure présente alors des traces de karstification. Cette morphologie rappelle ce que nous observons sur la bordure d'une marge en cours de création, soumise aux influences eustatiques.

3. Au-dessus viennent des calcaires à rhodophycées qui remplissent des chenaux creusés dans les marnes, puis un niveau à cailloutis pouvant atteindre 20 m d'épaisseur. Ce dernier contient des galets d'origine diverse, mais aussi des olistolithes de grande taille (blocs de 5 à 6 m d'épaisseur sur 5 à 20 m de long) constitués de calcaire jurassique. Les galets forment parfois des lits de plusieurs mètres d'épaisseur à forts pendages de directions différentes. Viennent ensuite des bancs de calcaire à rhodophycées et échinodermes, et des niveaux conglomératiques chenalisés. Les échinidés sont rapportés à *Clypeaster* cf. *altus* (Klein) et *Clypeaster scutellatus* Agassiz, formes typiques, ainsi que plusieurs de ses morphes (*lagonoides*, *latirostris*, *intermedius*). Les deux premiers cités sont identiques aux échantillons du calcaire de La Couronne (Bouches-du-Rhône) d'âge burdigalien supérieur. Ces déterminations confirment la datation de Depéret faite sur *Pecten restitutensis* Fontannes, cantonné lui aussi au Burdigalien supérieur.

4. En discordance sur le Jurassique, la molasse de Vence, les marnes de Vence et les calcaires à rhodophycées et olistolithes, repose sur le plateau du Caire à Tourrettes-sur-Loup une molasse très caillouteuse de plus de 50 m d'épaisseur et qui a livré une faune de pectinidés (Ginsburg 1960) ainsi que, à la base, une M3 incomplète, mais caractéristique, du petit Rhinocerotidae *Aceratherium* (*Alicornops*) *simorrense* (Lartet). La faune de pectinidés s'établit ainsi : *Flabellipecten planocostatus* Depéret *et* Roman, *Flabellipecten fraterculus* Sowerby, *Pecten* (*Gigantopecten*) *albinus* von Teppen, *Pecten* (*Gigantopecten*) *latissimus* Brocchi, *Pecten* (*Gigantopecten*) *ziziniae* sp. *subtipica* Sacco, *Chlamys solarium* Lamarck, *Chlamys rotundata* Lamarck var.

Nous avons aussi réexaminé les Pectinidae de la molasse supérieure du plateau du Caire à

Tourrettes-sur-Loup : dans la vallée du Rhône, les deux *Flabellipecten* sont présents dans la partie supérieure du Serravallien et dans le Tortonien (Demarcq 1990), tandis que *Chlamys albina*, renommée *Pecten* (*Gigantopecten*) *albinus* par Bongrain (1988) est présente dans les mêmes régions dans tout le Serravallien et le Tortonien. *Pecten* (*Gigantopecten*) *latissimus* n'a pas été retrouvée dans le bassin du Rhône mais n'est connue, en dehors de Vence, que dans le Messinien et le Pliocène inférieur d'Oranie et d'Italie. La forme *subtipica* a été créée par Sacco (1897) pour une variété de *Macrochlamys tournali*. D. Mongin, dans la détermination qu'elle a faite des fossiles de Vence, la considère comme une sous-espèce de *Pecten* (*Gigantopecten*) *ziziniae*. Cette sous-espèce *subtipica* est connue en Italie : elle est rare à l'Aquitanien, fréquente à l'Helvétien et au Serravallien, présente au Tortonien. *Chlamys solarium* est connue du Burdigalien au Tortonien. Quant à *Chlamys rotundata* var. du plateau du Caire, elle se distingue de la forme typique aquitanienne par une taille plus forte et la présence d'une costulation intercalaire. Or *Chlamys calarinata*, que Roger (1939) place dans le même groupe que *Chlamys rotundata*, se distingue justement de cette dernière par une plus grande taille et la présence de côtes intercalaires. Comme *Chlamys calaritana* relaie dans le temps *Chlamys rotundata*, on peut se demander si elle n'en est pas issue, et dans ce cas, nos spécimens du plateau du Caire seraient des *Chlamys calarinata* un peu primitifs ou une forme intermédiaire entre les deux espèces, présentant un mélange de caractères primitifs et de caractères évolués. *Chlamys calaritana* est une espèce caractéristique du Serravallien mais peut monter dans le Tortonien.

L'ensemble de la faune est donc homogène. Elle

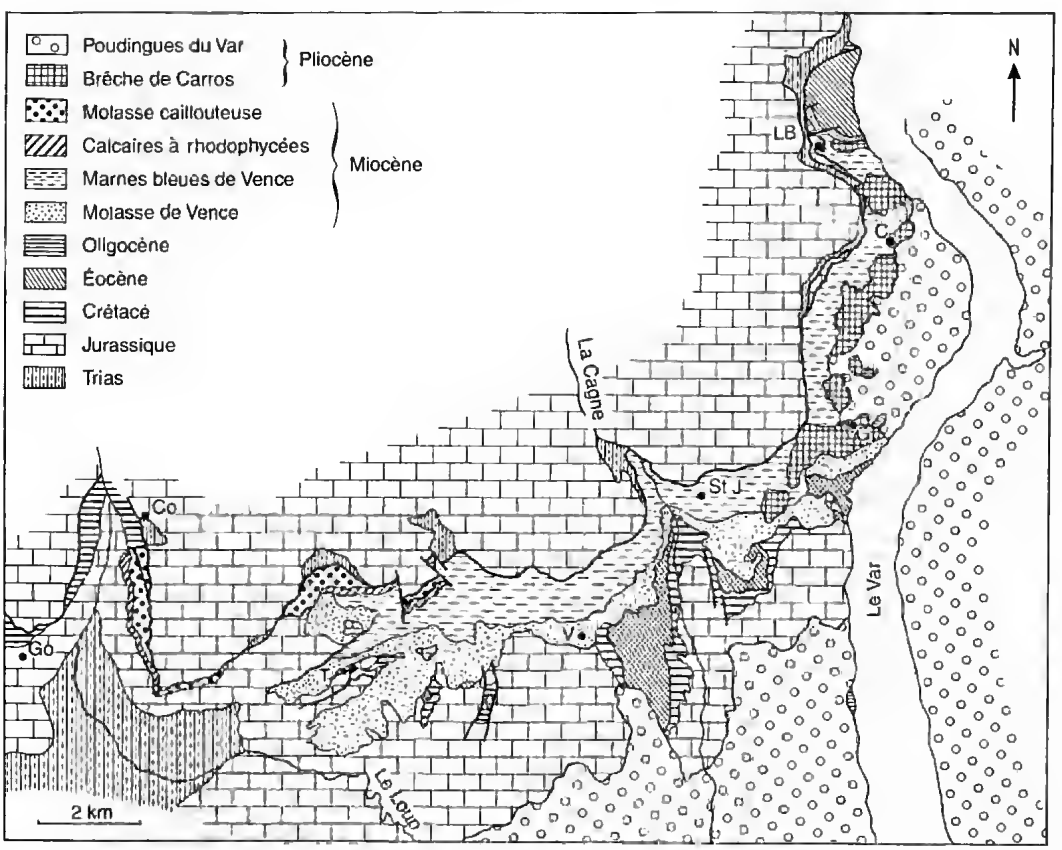


FIG. 2. — Carte géologique du bassin de Vence. **C**, Carros ; **Co**, Courmes ; **G**, Gattières ; **Go**, Gourdon ; **LB**, Le Broc ; **St J**, Saint-Jeannet ; **T**, Tourrettes-sur-Loup ; **V**, Vence.

semble parfaitement correspondre à la zone PN6 de Demareq (1990), qu'il définit par la coexistence, en acmé, de *Flabellipecten fraterculus*, *Flabellipecten planocostatus* et *Pecten* (*Gigantopecten*) *albinus*, et qu'il place dans le Tortonien. La présence de *Chlamys latissima*, inconnue avant le Messinien, tendrait à placer les molasses caillouteuses assez haut dans le Tortonien, tandis que celle d'un *Chlamys calarinata* primitif tendrait au contraire à la vieillir.

Au contraire, le petit rhinocérotidé *Aceratherium* (*Alicornops*) *simorrensis* est une forme rare qui jusqu'à présent n'est connue que dans l'Orléanien, l'Astaracien et le Vallésien (Ginsburg & Guérin 1979), c'est-à-dire, compte tenu des équivalences – non encore parfaites – entre échelles marines et échelles continentales, au Burdigalien, au Serravallien et au début du Tortonien. Le spécimen d'*Aceratherium* (*Alicornops*) *simorrensis* de Tourrettes-sur-Loup a été trouvé à la base de la série molassique, et la faune de pectinidés à son sommet. Un âge tortonien est donc cohérent pour l'ensemble de la formation.

La molasse caillouteuse terminale apparaît donc comme tortonienne. Elle est prise sous les grands chevauchements des Baous, qui montrent que le Trias et le Jurassique reposent sur le Miocène, sur environ 10 km de long, de Courmes au Brocchi

À cette molasse supérieure, caillouteuse, de Tourrettes-sur-Loup, Ginsburg (1960, 1970) a rattaché les poudingues de Sainte-Luce, situés à une quinzaine de kilomètres plus à l'ouest, sur la commune de Saint-Vallier-de-Thiey. Mais cette formation, très caillouteuse comme sur le plateau du Caire à Tourrettes-sur-Loup, en diffère cependant considérablement par l'abondance de galets de quartz qu'elle renferme, et qui sont inconnus à Tourrettes. Elle se rattache mieux à d'autres formations caillouteuses, riches en galets de quartz elles aussi, et que l'on trouve plus à l'ouest. Mennessier (1966) les a cartographiées et décrites comme du Vindobonien continental indéterminé.

INTERPRÉTATION STRATIGRAPHIQUE

Le Massalien et le problème de la limite Oligocène-Miocène

La position exacte de la limite Oligocène-Miocène dans la série stratigraphique est un problème qui date de la création de l'étage Aquitanien (Mayer-Eymar 1858) car il peut se poser de la manière suivante : doit-on rattacher l'Aquitanien à l'Oligocène ou au Miocène ? Les avis ont longtemps été partagés et l'on peut voir dans le même volume du *Bulletin de la Société Géologique de France* de 1893 deux articles, l'un et l'autre remarquables, optant chacun pour une position différente : Depéret, dans sa classification des terrains miocènes, y englobe l'Aquitanien, tandis que Munier-Chalmas et de Lapparent, dans leur nomenclature générale des étages géologiques, placent l'Aquitanien dans l'Oligocène. Et l'on vit même un auteur si partagé en lui-même, que dans la même publication, il plaça l'Aquitanien marin dans le Miocène et l'Aquitanien continental dans l'Oligocène, tout en reconnaissant leur synchronisme (Viret 1929).

Quel principe doit-on donc suivre pour situer correctement une limite ? Les premiers géologues ont rassemblé en des ensembles cohérents les couches de terrain renfermant les mêmes fossiles. Ces ensembles prirent le nom de « systèmes ». Ce principe est à la base de la création du Cambrien, du Silurien, du Dévonien, du Carbonifère, du Permien, du Trias, du Jurassique, du Crétacé. À l'intérieur de chaque système, des ensembles plus petits rassemblèrent des couches à faunes d'affinités plus fines. Ce furent nos « étages géologiques ». Puis l'on s'aperçut que chaque « système » commençait par une transgression marine et se terminait par une régression marine. Ainsi, chaque transgression marine amène une faune marine nouvelle que la régression suivante efface à jamais. Ginsburg (1964) a montré par quels mécanismes les régressions marines entraînent les extinctions de faunes et les transgressions marines provoquent l'apparition de faunes nouvelles.

C'est ce principe des transgressions-régressions que l'on applique pour décider de l'appartenance d'un étage-limite à un « système » ou à un autre. Mais dans le détail cela est parfois difficile car, au début d'un « système », le changement de faune n'est pas toujours évident. Une petite transgression n'amène qu'un petit changement de faune et jouer sur des proportions de faunes est toujours délicat, souvent hasardeux. C'est le cas de

l'Aquitanien. La transgression est encore faible, elle n'en est qu'à son début, et la faune n'a pas encore très fortement changé. Le renouvellement n'est qu'à son amorce. Mais le principe est là. En vertu de ce principe, Depéret (1893) place sans ambages l'Aquitanien dans le Miocène, et Gignoux (1936), illustrant la transgression miocène dans le bassin du Rhône, montre que la première étape de cette transgression est l'Aquitanien de Carry-le-Rouet.

Malheureusement, le stratotype de l'Aquitanien a été pris en Aquitaine, c'est-à-dire dans une région où les phénomènes sont moins nets qu'en Méditerranée et où d'ailleurs la transgression miocène sera toujours hésitante et n'ira pas très loin. Mais le principe fut respecté et l'Aquitanien, finalement, est unanimement rattaché au Miocène.

Le problème du Massalien est, en réduction, le même problème. Après avoir défini et redéfini le stratotype, couche par couche, on s'aperçut que, dans la région de Marseille, existait une petite série rattachée traditionnellement à l'Aquitanien mais qui se trouvait – les équivalences stratigraphiques ayant été minutieusement établies – en dessous de l'Aquitanien stratotypique. C'est la série de Nerthe, étudiée en particulier par Catzigras (1943, 1972), Anglada (1972), Lorenz (1972), Anglada & Catzigras (1980), Monleau *et al.* (1988), Philippe *et al.* (1988) et pour laquelle Gourinard & Magné (1987) ont proposé le nom de Massalien.

Avant la redéfinition du stratotype de l'Aquitanien, la coutume était de placer la limite Oligo-Miocène entre 24,5 et 25 Ma et de faire débuter l'Aquitanien avec la zone à *Globigerinoides primordius* (ex. Bolli *et al.* 1985). Cela est cohérent et correspond bien à la coupure que l'on observe sur la courbe de Vail (Haq *et al.* 1987) entre l'Oligocène à lignes de rivages très lointaines et la brusque remontée de la mer vers 25 Ma. Or l'Aquitanien stratotypique ne débute qu'à 22 Ma avec le cycle TB 1,5. Entre ces deux chiffres (25 et 22 Ma), se situe justement le Massalien. Placer ce Massalien dans l'Oligocène sous prétexte qu'il se trouve sous l'Aquitanien stratotypique, étage le plus inférieur du Miocène, nous paraît absolument contraire à la logique et au bon sens. En effet, le « premier étage méditerranéen » de Suess (1897) débute avec une transgression et le Miocène de Depéret commence avec le début de cette transgression, début qui correspond aux couches de Carry-le-Rouet, c'est-à-dire au Massalien. Il nous est impossible de ne pas appeler « transgression miocène » cette transgression. Aussi placerons-nous le Massalien dans le Miocène, à la base de l'Aquitanien qui est incomplet en son lieu stratotypique, et replacerons-nous la limite Oligo-Miocène autour de 25 Ma.

Rappelons ce qu'ont écrit Gourinard *et al.* en 1987 : « Il est apparu que la partie inférieure de ces dépôts [dépôts de Carry-le-Rouet] devait être antérieure à l'âge de l'arrivée de la mer aquitanienne dans le Bordelais. La totalité de la série marine de Carry étant considérée comme post-oligocène, on proposa aussi de faire débuter l'étage aquitanien plus tôt et de considérer la partie inférieure marine comme une excellente coupe auxiliaire de référence. Par la suite, la coupe de Carry-le-Rouet fut proposée comme "parastratotype de l'étage Aquitanien" (Mayer-Eymar) et comme "coupe auxiliaire de référence". Ces propos n'ont rien perdu de leur actualité, malgré la nouvelle échelle proposée, où la limite Oligo-Miocène est placée à 23 ± 0,5 Ma (Odin 1994). Ajoutons que les lamellibranches et les échinidés de la molasse inférieure de Vence ont nettement plus d'affinités avec les formes miocènes qu'avec les formes oligocènes, comme d'ailleurs la macrofaune d'invertébrés de Carry-le-Rouet (Catzigras 1972) et les foraminifères, tant de grande taille (Lorenz 1972) que de petite taille (Anglada 1972), de la même région. Anglada écrit d'ailleurs à leur propos : « L'étude des foraminifères ne nous autorise pas à attribuer à l'Oligocène les premiers témoins de la transgression. »

INTERPRÉTATIONS PALÉO-GÉOGRAPHIQUES ET TECTONIQUES

Des coulées et des conglomérats andésitiques sont connus à Biot, Villeneuve-Loubet et au Cap-d'Ail. Leur âge est de 26 à 27 Ma. À cette époque se trouvait plus au sud une terre émergée : le bloc corso-sarde, qui était solidaire des

Maures-Estérel. La mer ne pouvait alors venir ni du sud ni de l'ouest. Or, en Italie du Nord, la mer oligocène forme un golfe limité au sud par l'Apennin ligure, progresse vers l'ouest au cours du Stampien et atteint à l'Aquitanien inférieur les environs de Mondovi, à 50 km seulement du bassin de Vence (Lorenz 1969). Si l'on ajoute la répartition géographique à l'Aquitanien de *Chlamys northamptoni* et surtout de *Chlamys rotundata*, on conviendra de considérer l'Aquitanien de Vence comme l'extrême avancée vers l'ouest du bassin padan. Ce point n'est pas totalement inédit : Demarcq (1986) a en effet considéré le bassin de Vence à l'Aquitanien comme le fond d'un « golfe ligure » rattaché directement à la mer tyrrhénienne et séparé comme celle-ci du golfe rhodanien par l'ensemble émergé Maures-Estérel-Corse-Sardaigne.

La molasse inférieure et les marnes bleues de Vence sont l'équivalent des formations marines de Carry-le-Rouet et correspondent au cycle TB 1.4.

Dans la région de Digne, au-dessus des molasses rouges continentales attribuées à l'Oligocène et sous la molasse grise burdigalienne, se trouve la « molasse intermédiaire », constituée de marnes grises intercalées de grès, de conglomérats, de niveaux marins à lamellibranches et balanes, ainsi que de niveaux lacustres de calcaires et de lignites. Deux gisements à mammifères y ont été trouvés, l'un à Lambert dans la partie terminale des molasses rouges, l'autre à Esclangon près de Barles dans la molasse intermédiaire (Gigot & Mein 1973 ; Hugueney *et al.* 1992). Ces deux gisements à *Rittenetia molinae* sont à placer dans la MN2a, zone dont le gisement de référence est Saint-Gérand-le-Puy, d'âge aquitanien. Ce domaine marin de Digne fut considéré jusqu'à présent comme une dépendance de la mer rhodanienne. On peut envisager aujourd'hui, avec plus de vraisemblance, une communication directe avec le bassin padan.

Après le dépôt des marnes bleues de Vence, la région vençoise émerge en même temps que le bassin de la Nerthe (Monleau *et al.* 1988). C'est la phase tectonique savique (Grandjacquet *et al.* 1972 ; Arnaud *et al.* 1988). Comme en Provence occidentale, le cycle TB 1.5 et la base de TB 2.1 sont absents. Cette phase de régression se situe à la fin du phénomène de « *rifting* » qui a débuté à l'Oligocène et doit précéder ou être synchrone

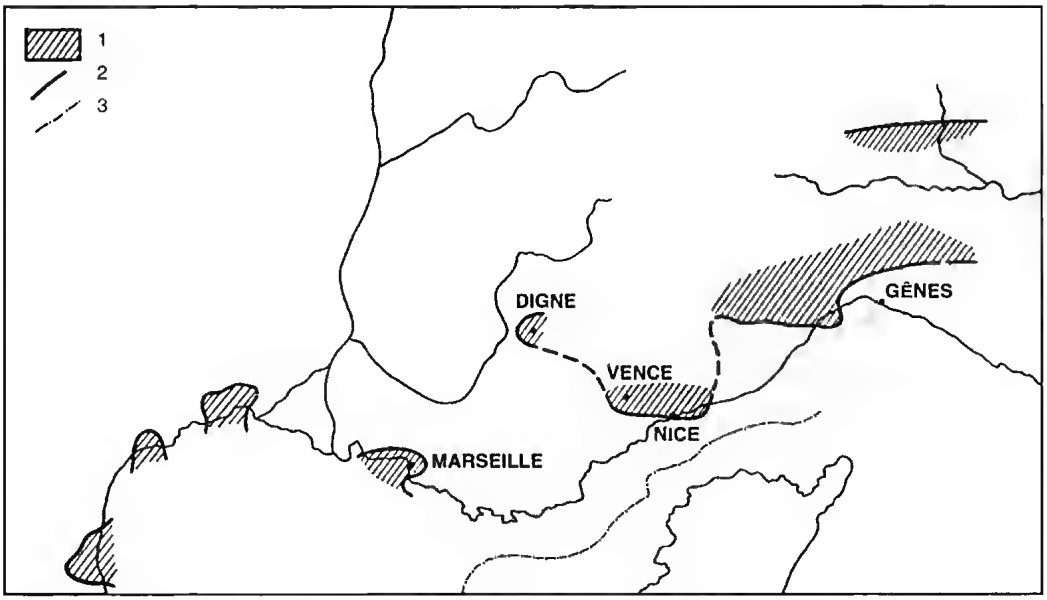


FIG. 3. — Schéma paléogéographique de la Provence à l'Aquitanien. **1**, dépôts marins ; **2**, ligne de rivage estimée ; **3**, ligne de suture entre la Corse et le bloc Maures-Estérel.

du début de l'ouverture de la Méditerranée occidentale et donc de la dérive du bloc corso-sarde (entre – 21 et – 19 Ma). Les relations paléogéographiques du bassin de Vence changent alors et se feront désormais avec l'ouest. La transgression burdigalienne atteint d'abord la Basse-Provence à la fin du Burdigalien inférieur puis s'étend vers le nord, gagnant le Dauphiné, la Savoie et la plaine suisse tandis qu'elle envahit la région de Vence. Des mouvements tectoniques importants ont lieu pendant la durée des dépôts burdigaliens, marqués par la présence de niveaux à galets et d'olistolithes. Après émersion, basculement et pénéplanation, la molasse caillouteuse supérieure d'âge tortonien est le dernier témoin marin pris sous les grands chevauchements de la phase tectonique majeure alpine.

Remerciements

Nous tenons à remercier ici R. Anglada et J. Magné qui ont déterminé la microfaune des marnes de Vence, J.-L. Welcomme qui a précisé les lignes de rivages du Languedoc à l'Aquitanien, J. Meulenkamp et C. Montenat qui ont relu le manuscrit, ainsi que Mme F. Pilard, qui a réalisé les figures qui accompagnent le texte.

RÉFÉRENCES

Anglada R. 1972. — Étude des petits Foraminifères *in* Contribution à l'étude de l'Aquitanien. La coupe de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône, France), *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, série I (4) : 29-35.

Anglada R. & Catzigras F. 1980. — Les étages français et leurs stratotypes - Aquitanien *s.l.* (parastratotypes). *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières* 109 : 264-268.

Arnaud M., Barbaroux L., Carzigras F., Coulomb E. & Monleau C. 1988. — Le Burdigalien et le Langhien de Provence occidentale (Bouches-du-Rhône) : nouvelles données stratigraphiques et sédimentologiques. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 307, série II : 779-784.

Bellon H. & Brousse R. 1971. — L'âge oligo-miocène du volcanisme ligure. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 272 (25) D : 3109-3111.

Bolli H. M., Saunders J. B. & Perch-Nielsen K. 1985. — *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, 1932 p.

Bongrain M. 1988. — Les *Gigantopecten* (Pectinidae, Bivalvia) du Miocène français. Croissance, Morphogenèse. Paléoécologie. *Cahiers de Paléontologie*, CNRS : 1-230.

Catzigras F. 1943. — *L'Aquitanien marin de Carry-le-Rouet*. Imprimerie Marseillaise, Marseille, 133 p.

— 1972. — Aperçu sur la macrofaune *in* Contribution à l'étude de l'Aquitanien. La coupe de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône, France), *Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, série 2, I (4) : 19-28.

Demarcq G. 1986. — Relations géodynamiques et paléogéographiques entre les domaines rhodano-provençal et tyrrhénien au Miocène. *Giornale di Geologia*, série 3, 48 (1-2): 77-84.

— 1990. — Pectinidés néogènes : proposition d'une échelle biostratigraphique en Méditerranée. *Geobios* 23 (2) : 149-159.

Depéret C. 1893. — Sur la classification et le parallélisme du Système miocène. *Bulletin de la Société géologique de France*, série 2, 21 : 170-266.

Depéret C. & Roman F. 1902-1905. —Monographie des pectinidés néogènes de l'Europe et des régions voisines. *Mémoires de la Société géologique de France* 26 : 1-168.

Gignoux M. 1936. — *Géologie stratigraphique*. Masson éditeur, Paris, 667 p.

Gigot P. & Mein P. 1973. — Découvertes de mammifères aquitaniens dans la molasse burdigalienne du golfe de Digne. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 276 (D) : 3293, 3294.

Ginsburg L. 1960. — Étude géologique de la bordure subalpine de l'ouest de la basse vallée du Var. *Bulletin des Services de la Carte géologique de France*, Tome LVII 259 : 1-38.

— 1964. — Les régressions marines et le problème du renouvellement des faunes au cours des temps géologiques. *Bulletin de la Société géologique de France*, série 7, VI (1) : 13-22.

— 1970. — *Carte géologique de la France au 1/50 000*. Feuille de Grasse-Cannes XXXVI : 43, 44.

Ginsburg L. & Guérin C. 1979. — Sur l'origine et l'extension stratigraphique du petit Rhinocérotidé miocène *Aceratherium* (*Alicornops*) *simorrense* (Lartet), nov. Subgen. *Comptes Rendus sommaires de la Société géologique de France* 3 : 114-116.

Ginsburg L. & Mongin D. 1956. — Observations nouvelles sur le Miocène de Vence (Alpes-Maritimes). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 256 : 3094, 3095.

Gohau G. & Veslin J. 1960. — À propos de l'âge de la série du Miocène de Vence. *Bulletin de la Société géologique de France*, série 7, 2 (6) : 764-767.

Gourinard Y. & Magne J. 1987. — Les anciens étages Aquitanien (Mayer, 1857), Burdigalien (Depéret, 1892) et Helvétien (Mayer, 1857) correspondent aux cycles eustatiques de Vail, TB 1.5, TB 2.1 et

TB 2.2. Usage possible en nomenclature stratigraphique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 307 (12) II : 1105-1108.

Grandjacquet C., Haccard D. & Lorenz C. 1972. — Sur l'importance de la phase tectonique aquitanienne dans l'Apennin et les Alpes occidentales. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 275 (D) : 807-809.

Guebhard A. 1900. — Observations géologiques dans le Sud-Ouest des Alpes-Maritimes. *Bulletin de la Société géologique de France*, série 3, 28 : 320-322.

— 1901. — Sur un faciès du Miocène. *Bulletin de la Société géologique de France*, série 4, 1 : 540, 541.

— 1903. — Sur les brèches et poudingues observables entre Siagne et Var. *Bulletin de la Société géologique de France*, série 4, 2 : 923-932.

Haq B. U., Hadenbol J. & Vail P. R. 1987. — Chronology of fluctuating sea level since the Triassic. *Sciences* 235: 1156-1167.

Hugueney M., Mein P. & Ringeade M. 1992. — Nouvelle datation des gisements de mammifères du bassin de Digne (Lambert et Barles, Sud-Est de la France) ; extension probable de la transgression aquitanienne dans cette région. *Paleontologia i evolutio*, Sabadell 24/25: 123-134.

Lapparent A. F. de 1938. — Études géologiques dans les régions provençales et alpines entre le Var et la Durance. *Bulletin des Services de la Carte géologique de France* XL 198 : 1-302.

Lorenz C. 1969. — Contribution à l'étude stratigraphique de l'Oligocène et du Miocène inférieur des confins liguro-piémontais (Italie). *Atti Istituto Geologia*, Università Genova VI (2): 255-888.

— 1972. — Études des Lépidocyclines et Miogypsines *in* Contribution à l'étude de l'Aquitanien. La coupe de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône, France). *Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, série 2, I (4) : 37-44.

Mayer-Eymar K. 1858. — Versuch einer neuen Klassification der Tertiär – Gedilde Europa's. *Verhandlungen der Allgemaine Schweizerische Gesellshaft für Gesamnt Naturwissenshaft bei iner Versammlung in Trogen am 17, 18 und 19 Aug. 1857*, J. Schläppen, Trogen: 195-199.

Mennessier G. 1966. — *Carte géologique de la France au 1/50 000.* Feuille de Fayence, XXXV-43.

Mongin D. 1952. — Gastéropodes et Lamellibranches du Burdigalien de Provence. *Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle*, N. S., série C II (2), 238 p.

— 1962. — Au sujet des pectinidés du Miocène de Vence (Alpes-Maritimes). *Comptes Rendus sommaires de la Société géologique de France* 1 : 24, 25.

Monleau C., Arnaud M. & Catzigras F. 1988. — L'Oligocène supérieur marin de la Nerthe (Bouches-du-Rhône) : nouvelles données sédimentologiques et paléogéographiques, dans le cadre de la géodynamique de la Méditerranée occidentale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, série II, 306 : 487-491.

Munier-Chalmas E. & Lapparent A. de 1893. — Note sur la nomenclature des terrains sédimentaires. *Bulletin de la Société géologique de France*, série 2, 21 : 438-488.

Odebode M. O. 1978. — The Age of the Marly Formation of the Miocene Basin of Vence (SE France) based on Planktonic Foraminifera. *Revista espanola de micropaleontologia* X (1): 75-86.

— 1982. — Miocene foraminiferal paleontology of the basin of Vence, Southeast France. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 39: 313-329.

Odin G. S. 1994. — Geological Time scale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 318 série II : 59-71.

Philippe M., Negretti B., Lary C., Arnaud M. & Monleau C. 1988. — Les Échinidés miocènes de la Nerthe (Bouches-du-Rhône), répartition et conclusions biostratigraphiques. *Géologie méditerranéenne* XV (4) : 235-250.

Roger J. 1939. — Le genre *Chlamys* dans les formations néogènes de l'Europe. *Mémoires de la Société géologique de France*, N. S. XVII (2-4) mém. 40 : 1-294.

Sacco F. 1897. — *I Molluschi dei terreni terziarii del Piemonte e della Liguria. XXIV : Pectinidae.* Carlo Clausen edit., Torino, 115 p.

Suess E. 1897. — *La face de la Terre.* Tome I. Armand Colin éditeur, Paris, 835 p.

Tournouër H. 1877. — Notes paléontologiques sur quelques-uns des terrains tertiaires observés dans la Réunion Extraordinaire de la Société Géologique à Fréjus et à Nice. *Bulletin de la Société géologique de France*, série 3, 5 : 841-857.

Viret J. 1929. — Les faunes de mammifères de l'Oligocène supérieur de la Limagne bourbonnaise. *Annales de l'université de Lyon*, N. S 1 (27) : 1-326.

Soumis pour publication le10 juillet 1997 ;
accepté le 8 décembre 1997.

Palynologie du Selandien d'Oraas (Pyrénées-Atlantiques, France) : comparaison avec le microplancton du Danien-Selandien connu dans le monde

Carla CAVAGNETTO
Laboratoire des Paléoenvironnements et Palynologie,
UMR-CNRS 5554, université de Montpellier II,
F-34095 Montpellier cedex 05, (ISEM 96-012) (France)

Yvette TAMBAREAU
Laboratoire de Géologie structurale,
UA 1405, Université Paul-Sabatier,
38 rue des Trente-Six-Ponts, F-31400 Toulouse (France)

Cavagnetto C. & Tambareau Y. 1998. — Palynologie du Selandien d'Oraas (Pyrénées-Atlantiques, France) : comparaison avec le microplancton du Danien-Selandien connu dans le monde. *Geodiversitas* 20 (2) : 239-261.

RÉSUMÉ
Dans ce travail sont présentés les dinoflagellés, les grains de pollen et les spores trouvés à la partie sommitale des « Calcaires inférieurs » du Paléocène basal d'Oraas (Pyrénées-Atlantiques). Les assemblages, très diversifiés, nous ont livré soixante-dix espèces de dinoflagellés et cinquante-sept espèces de pollens et spores. La comparaison des dinoflagellés recensés avec les autres associations connues dans le monde nous a permis de confirmer l'âge selandien (D2 ou base de D3) de la partie supérieure des « Calcaires inférieurs ». En effet, nous avons reconnu *Alisocysta reticulata*, espèce limitée à la zone D2 (Costa & Manum 1988) et *Spinidinium densispinatum* débutant dans la zone D3 du Selandien selon Powell (1992). Des affinités ont été mises en évidence entre ce phytoplancton et celui d'Europe et d'Amérique du Nord.

MOTS CLÉS
dinoflagellés,
pollens,
Pyrénées-Atlantiques,
Danien-Selandien.

ABSTRACT

Palynology of the Selandian of Oraas (Pyrénées-Atlantiques, France): comparison with Danian-Selandian microplankton recorded in the world. An analysis of the dinoflagellates, pollen and spores occurring within the "*Calcaires inférieurs*" of the Lowermost Paleocene of Oraas (Pyrénées-Atlantiques) is carried out. The very diversified assemblages found at the top of the formation involve seventy species of dinoflagellates and fifty-seven species of pollen and spores. The comparison of these dinoflagellate assemblages with the other ones recorded in the world enables confirmation of the Selandian age (D2 or base of D3) of the uppermost part of the "*Calcaires inférieurs*". Two main species have been recorded: *Alisocysta reticulata*, restricted to the zone D2 (Costa & Manum 1988) and *Spinidinium densispinatum* which has its first appearance in the zone D3 of the Selandian after Powell (1992). Some obvious affinities have been shown between this phytoplankton and the Northern Europe and Northern America ones.

KEY WORDS
Dinoflagellates, pollen, Pyrénées-Atlantiques, Danian-Selandian.

INTRODUCTION

Dans les Pyrénées, le Paléocène basal, et en particulier le Danien, bien individualisé par les associations de foraminifères planctoniques et de coccolithes en domaine de bassin, c'est-à-dire près de la côte atlantique – Bidart par exemple *in* Delacotte (1982) –, est plus difficile à caractériser plus à l'est, en domaine de plate-forme. En effet, que ce soit dans les Petites Pyrénées sur le versant nord ou en Navarre dans le versant sud, le Paléocène basal est essentiellement représenté par des séries carbonatées partiellement dolomitisées, dépourvues de foraminifères planctoniques, à coccolithophoridés nains sans intérêt stratigraphique et à faunes benthiques rares et difficilement identifiables. Les seuls éléments de datation trouvés dans ces séries d'environnement marin restreint ont été les pollens et les dinoflagellés recensés à La Cassine dans les Petites Pyrénées : ils indiquent un « Danien non basal » (Gruas-Cavagnetto *et al.* 1992). Des palynoflores daniennes ont également été signalées dans les formations continentales plus orientales, dans le versant sud, à Fontllonga notamment (Médus *et al.* 1988). Il nous a paru intéressant de compléter ces données très partielles sur les microflores daniennes des Pyrénées par l'étude de celles trouvées dans les « Calcaires inférieurs » d'Oraas (Béarn) déposés sur la pente continentale dans des séries intermédiaires entre bassin et plate-forme et bien datés par les foraminifères planctoniques. Ce phytoplancton pyrénéen sera ensuite comparé à celui d'autres gisements d'âge comparable, décrits dans le monde.

CADRE GÉOLOGIQUE ET STRATIGRAPHIQUE (Y. T.)

Sous le hameau de Nouts à Oraas (Pyrénées-Atlantiques ; Fig. 1) dans le synclinal d'Escos, sur la rive droite du Gave d'Oloron creusé dans les puissantes « Marnes de Nay », une falaise de calcaires plissés, blancs, d'environ 10 m de hauteur, offre une bonne coupe des « Calcaires inférieurs » (Fig. 2A), première formation paléocène succédant aux horizons marneux de la zone à *mayorensis* (Fondecave-Wallez 1994) du Maastrichtien terminal. Ils sont directement surmontés par une épaisse série de flysch, les « Sables inférieurs ». Une analyse biostratigraphique détaillée du Paléocène basal béarnais a pu être entreprise dans ces calcaires accessibles en période de basses eaux. Cet affleurement a été découvert par Boltenhagen qui le décrit ainsi (1966 : 146, 152) :

« La formation se compose presque uniquement de calcaires fins et de joints marneux, blancs, parfois maculés de rouge (remaniement du Maastrichtien) se présentant sous la forme de bancs très plissés, froissés, étirés.

« À la base, ils reposent sur le Maastrichtien par

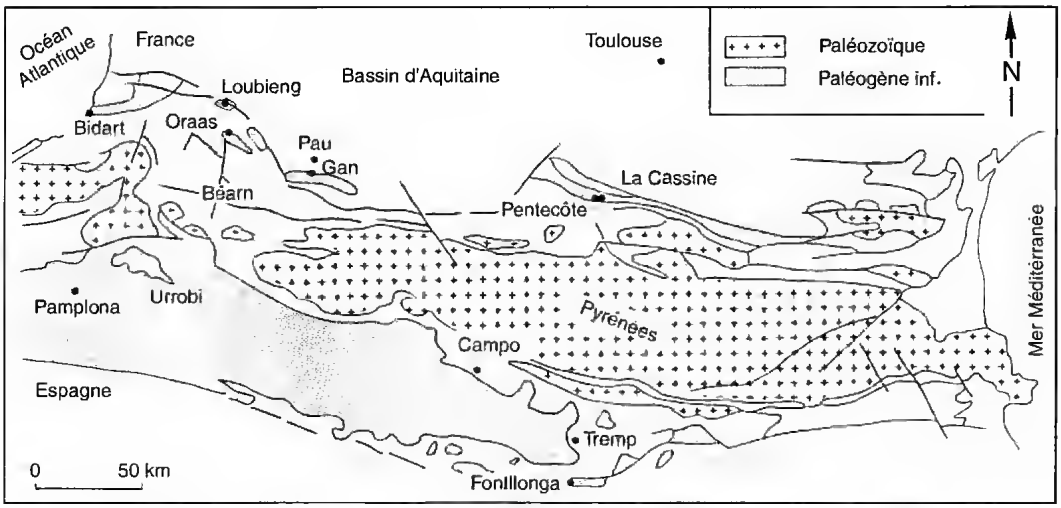


FIG. 1. — Carte schématique du Paléogène inférieur des bassins de l'avant-pays pyrénéen.

l'intermédiaire de quelques bancs minces restés plans. Tous les autres bancs, plissés, sont des calcaires fins à Globigérines et *Globorotalia*. Ils sont séparés par des couches marneuses, laminées, de couleur grise, claire ou occasionnellement rouge. Les couches calcaires plissées sont arasées suivant une surface plane et supportent les "Sables inférieurs", grès grossiers à dragées de quartz, en bancs réguliers. »

Pour cet auteur, les premières strates régulières des « Sables inférieurs » étant parallèles à celles des bancs maastrichtiens et des premiers bancs calcaires sous-jacents aux calcaires plissés, la déformation de ces derniers n'est pas d'origine tectonique mais serait due à des glissements synsédimentaires sur les pentes du bassin (*slumps*). Les microfaunes et, en particulier, les foraminifères planctoniques sont rapportées au « Paléocène » que l'auteur distingue du Danien sous-jacent qui serait absent ici.

L'étude actualisée des foraminifères planctoniques par Canudo & Molina (*in* Tambareau *et al.* 1994 et *in litteris*) montre que ces calcaires appartiennent pour leur majeure partie à la zone P3 du Selandien inférieur. Un échantillon situé juste au-dessus des marnes du Crétacé supérieur, à l'extrême base des « Calcaires inférieurs », pourrait appartenir à la zone à *Praemurica trinidadensis* (P1c) caractérisant un Danien élevé, mais la pauvreté de l'association ne permet pas de l'affirmer. Les autres échantillons de la partie inférieure de cette formation ont fourni des assemblages caractéristiques de la zone à *Morozovella angulata* (P3a). Les prélèvements effectués dans la partie supérieure de ces calcaires ont fourni une association caractéristique de la biozone à *Igorina pusilla* (P3b) avec *Planorotalites haunsbergensis*, *P. compressa*, *P. troelseni*, *Subbotina quadrilocula*, *Morozovella angulata*, *M. conicotruncata*, *Praemurica inconstans*, *Subbotina triloculinoides* et *S. velascoensis*.

Pour M.-P. Aubry (*in litteris*), le nannoplancton récolté à l'extrême base de ces calcaires, juste au contact avec les Marnes de Nay sous-jacentes, ne renferme que des espèces crétacées. Au-dessus, tous les échantillons fossilifères ont livré des assemblages qui caractérisent la partie supérieure de la zone NP4, c'est-à-dire la partie inférieure du Selandien. Ils comprennent *Chiasmolithus bidens*, *C. consuetus*, *Cruciplacolithus tenuis*, *Ellipsolithus macellus*, *Ericsonia subpertusa*, *Fasciculithus bivectus*, *F. magnicordis*, *F. ulii*, *Paleozygus signoides*, *Pinsius martinii*, *Sphenolithus primus*, *Toweius pertusus*.

Ces calcaires renferment aussi des foraminifères benthiques de plate-forme interne comme *Conicovalvulina keijzeri*, *Scarificatina* sp., connus dans les Petites Pyrénées en association avec *Bangiana hanseni* à Pentecôte et avec du microplancton d'un « Danien non basal » à

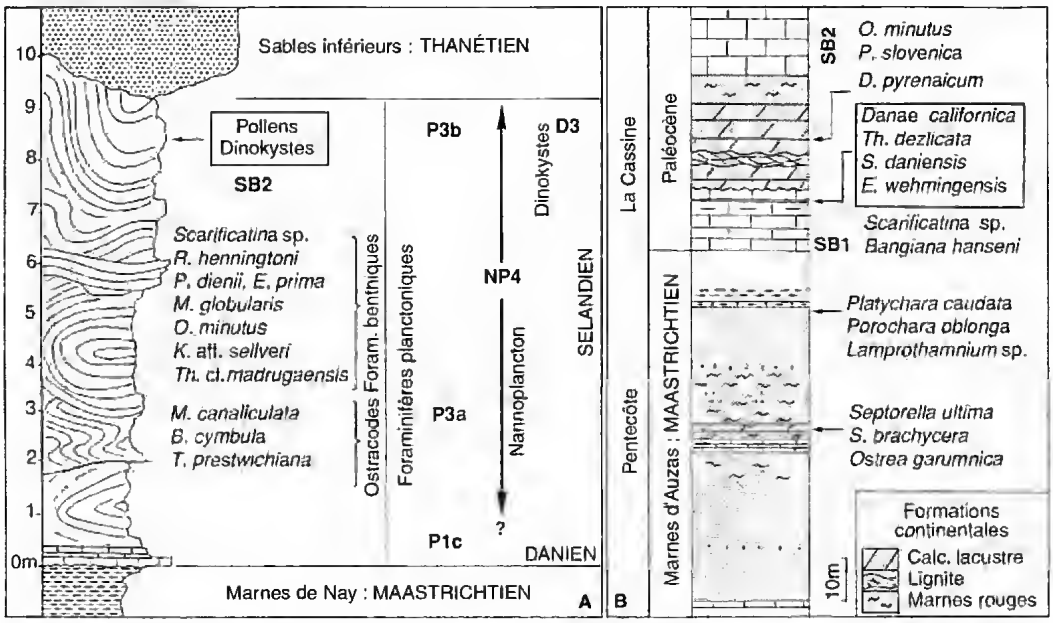


FIG. 2. — **A**, coupe des « Calcaires inférieurs » sur la rive droite du Gave d'Oloron à Nouts, Oraas (Béarn) ; **B**, coupe synthétique du Crétacé terminal et du Paléocène basal entre Pentecôte et La Cassine (Petites Pyrénées).

La Cassine (Figs 1, 2B), (Gruas-Cavagnetto *et al.* 1992 ; Tambareau *et al.* 1997). Elles sont associées à *Coleites* sp. ainsi qu'à des rotalidés complexes attribués par Boltenhagen (1966) aux genres *Laffitteina* et *Miscellanea*. Ces formes ont été récemment révisées par L. Hottinger qui a reconnu (*in litteris*) : *Thalmannita* cf. *madrugaensis*, *Redmondina henningtoni*, *Plumokathina dienii*, *Elphidiella prima*, *Miscellanites globularis*, *Kathina* aff. *selveri* n.sp., *Ornatononion minutus*. Dans la zonation des foraminifères benthiques, ces trois dernières espèces caractérisent la zone SB2 tandis que les quatre précédentes sont connues à la fois dans SB2 et SB3 (Serra-Kiel *et al.* 1997). Près d'Orthez, dans la coupe de Loubieng, nous (Y. T. & L. Hottinger) avons retrouvé une association à *Scarificatina* sp., *P. dienii*, *M. globularis*, *O. minutus*, *K.* aff. *selveri* et *E. prima* caractérisant cette zone SB2, bien développée sur toute la plate-forme nord-pyrénéenne et, en particulier, dans les Petites Pyrénées.

Les associations d'ostracodes de ces calcaires « slumpés » se composent essentiellement d'espèces profondes, de grande longévité, avec divers *Krithe*, *Cytherella* et *Bairdia* dont *B. cymbula*, quelques *Cretaceratina* et *Phacorhabdotus*, genres surtout connus dans le Crétacé et *Trachyleberidea* cf. *prestwichiana*. De rares espèces, moins profondes, sont également présentes dont *Mosaeleberis canaliculata* connue dans le « Montien » belge et dans les Pyrénées, du Crétacé terminal au Thanétien de la zone à *Glomalveolina primaeva* (SB3).

La presque totalité des « Calcaires inférieurs » s'est révélée dépourvue de matière organique. Un seul parmi les échantillons traités appartenant aux horizons supérieurs sous-jacents aux « Sables inférieurs » a livré de belles associations de dinoflagellés et de pollens dont la description détaillée et l'interprétation constituent la majeure partie de ce travail.

DINOFLAGELLÉS ET POLLENS (C. C.)

DINOFLAGELLÉS : COMPOSITION ET INTERPRÉTATION DE L'ASSEMBLAGE

Les « Calcaires inférieurs » d'Oraas sont riches en dinoflagellés avec soixante-douze espèces recon-

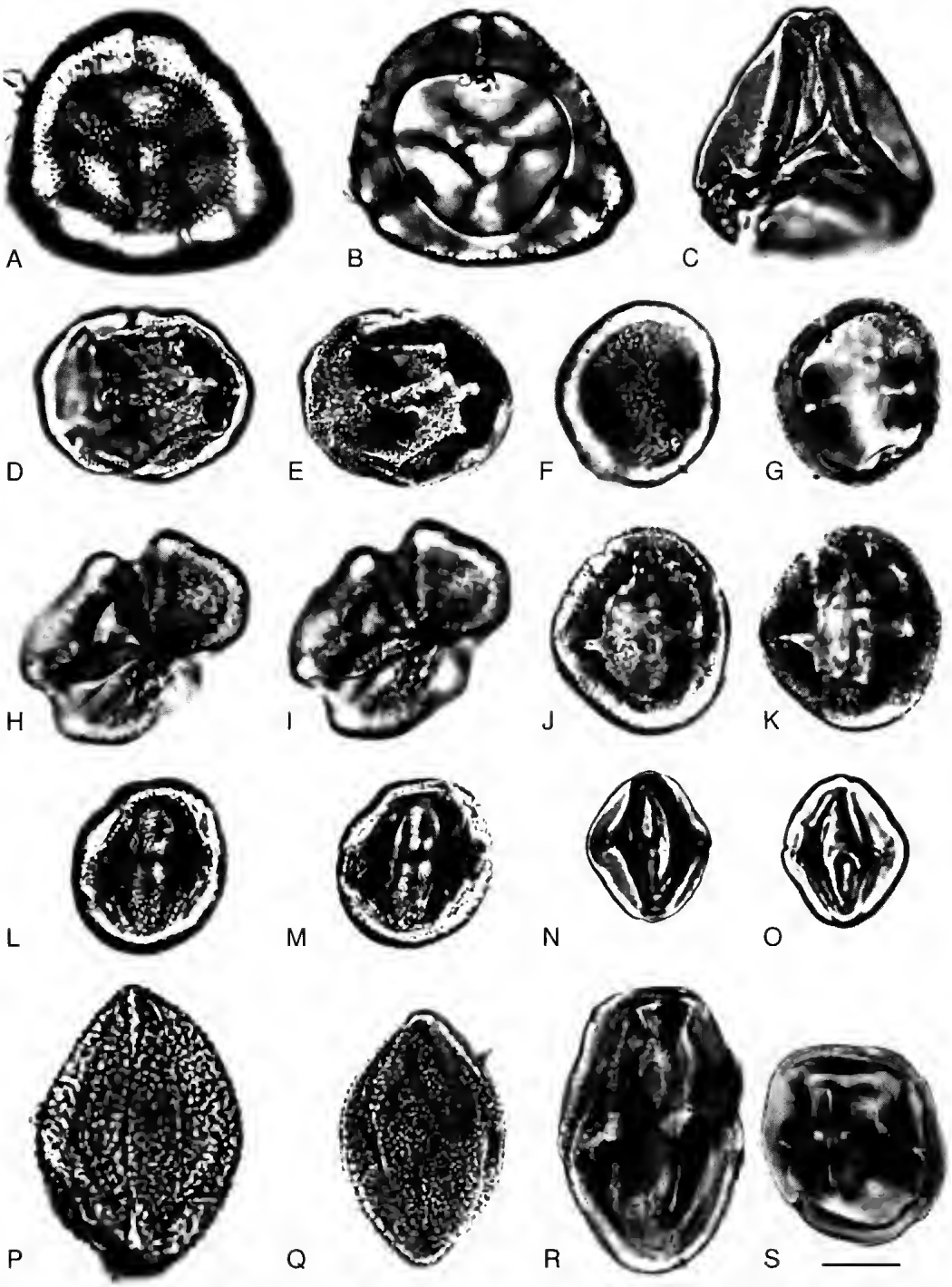


FIG. 3. — **A**, **B**, *Aveiropollenites* sp., La Cassine, lame P2-5, H48 ; **C**, *Caratinipollenites paleocenicus* Kedves, 1982, Oraas, lame 12-2, O13 ; **D**, **E**, *Retitricolporites* sp., La Cassine, lame P2-13, O19 ; **F**, **G**, *Tetracolporopollenites* sp., Oraas, lame 12-2, M34 ; **H**, **I**, *Foveotricolporites* sp., Oraas, lame 12-2, M20. ; **J**, **K**, *Retitricolporites* sp., La Cassine, lame P2-13, Z51 ; **L**, **M**, *Retitricolporites* sp., La Cassine, lame P2-4, O55 ; **N**, **O**, *Psilatricolporites* sp., La Cassine, lame P2-4, H48 ; **P**, *Magnolipollis* sp., Oraas, lame 12-2, X25 ; **Q**, *Idem*, X27 ; **R**, *Tetracolporopollenites* sp., Sapotaceae, Oraas, lame 12-2, R31 ; **S**, *Tetracolporopollenites* sp., Sapotaceae-Meliaceae, Oraas, lame 12-2, D39. Échelle : 10 µm.

nues. Il s'agit des premiers assemblages de dinoflagellés décrits dans le Paléocène inférieur des Pyrénées. Le tableau suivant indique l'importance des formes les plus représentées au sein de cet assemblage :

Spiniferites	16 %
Fibradinium annetorpense	15 %
Pyxidinopsis	11 %
Alisocysta reticulata	10 %
Alisocysta circumtabulata	1 %
Achomosphaera crassipellis	4 %
Operculodinium centrocarpum et *O. microtriainum*	4 %
Impagidinium	3 %
Hystrichosphaeridium tubiferum	3 %
Cerodinium	3 %
Cordosphaeridium inodes	2 %
Hystrichokolpoma cinctum	1 %
Fibrocysta axialis	1 %

Les *Spiniferites* y sont les formes dominantes ; elles se développaient dans des eaux profondes, en milieu néritique externe (Williams 1977 ; Köthe 1990). Bien que l'écologie de *Fibradinium annetorpense*, *Alisocysta* et du groupe *Pyxidinopsis* ne soit pas connue, on peut supposer qu'ils correspondent à des faciès distaux. *Impagidinium*, représentant ici 3 % de l'assemblage, témoigne d'un environnement océanique de talus continental.

Spores et pollens : composition et interprétation des assemblages

Les spores et les pollens sont moins abondants que les dinoflagellés dans les « Calcaires inférieurs » d'Oraas (37 pollens et spores + 63 dinoflagellés = 100).

Subtriporopollenites	54 %
Tricolporopollenites	9 %
Milfordia (Restionacées)	6 %
Compositoipollenites (Icacinacées)	5 %
Spores de Ptéridophytes	4 %
Stephanoporopollenites hexaradiatus	2 %
Pentapollenites	2 %
Tetracolporopollenites (Sapotacées)	2 %
Triatriopollenites	1 %

Parmi les pollens subtriporés, les plus représentés sont *Subtriporopollenites subporatus*, 22 %, *S. magnoporatus*, *S. anulatus*, 5 %, *S. magnoporatus baculatus*, 2 %, *S. constans*, 2 %. Parmi les tricolporés, *Tricolporopollenites feugueuri* et les formes à clavae sont communs ; parmi les pollens triporés, *Triporopollenites wehmingensis* l'est également.

L'abondance de pollens subtriporés à parois épaisses caractérise le Paléocène. D'après Roche (1969), *Subtriporopollenites magnoporatus* (surtout *S. magnoporatus tectopsilatus*) a une représentation exceptionnelle dans le « Montien » de Belgique.

Une autre association pollinique a été décrite dans le Paléocène basal pyrénéen, à La Cassine (Ariège) (Gruas-Cavagnetto *et al.* 1992). Elle a été trouvée dans le « Calcaire lithographique » à Coccolithes nains, indiquant un milieu marin restreint de plate-forme interne. L'association sporopollinique y est plus variée qu'à Oraas, cent deux formes y ont été reconnues contre cinquante et une à Oraas. Les formes communes aux deux gisements sont au nombre de vingt et une.

L'assemblage pollinique est différent à La Cassine, car *Triporopollenites wehmingensis*, *Tetrapollis polyangulus* et *Extratriporopollenites pseudogranifer* sont les formes dominantes. *Aveiropollenites* (Fig. 3A, B) est limité à ces gisements. Les pollens tricolporés sont variés (Fig. 3D-O). Parmi les pollens subtriporés, à La Cassine, on rencontre surtout *Subtriporopollenites magnoporatus* et *S. constans*. *Magnolipollis* (Fig. 3P, Q) n'est connu qu'à Oraas.

Avec un pourcentage non négligeable de formes issues du Crétacé, la palynoflore de La Cassine, datée d'un « Danien non basal », paraît plus ancienne dans le Paléocène que celle récoltée à Oraas.

À Fontllonga (Fig. 1), autre gisement pyrénéen mais de milieu continental, Médus (Médus *et al.* 1988) date l'horizon Fl9 du Danien d'après les vingt-sept formes polliniques qu'il y signale. Parmi celles-ci, sept sont également connues à La Cassine et à Oraas ; ce sont Type-*Pteris* (Pteridaceae), *Milfordia hungarica* (Restionaceae), *Triporopollenites robustus* (Corylaceae), *Nudopollis terminalis*, *Plicapollis pseudoexcelsus*, *Subtriporopollenites anulatus* et *S. constans*.

Deux espèces se rencontrent à La Cassine et à Fontllonga : *Extratriporopollenites agranifer* et *E. pseudogranifer* qui n'ont pas été retrouvées dans le gisement d'Oraas.

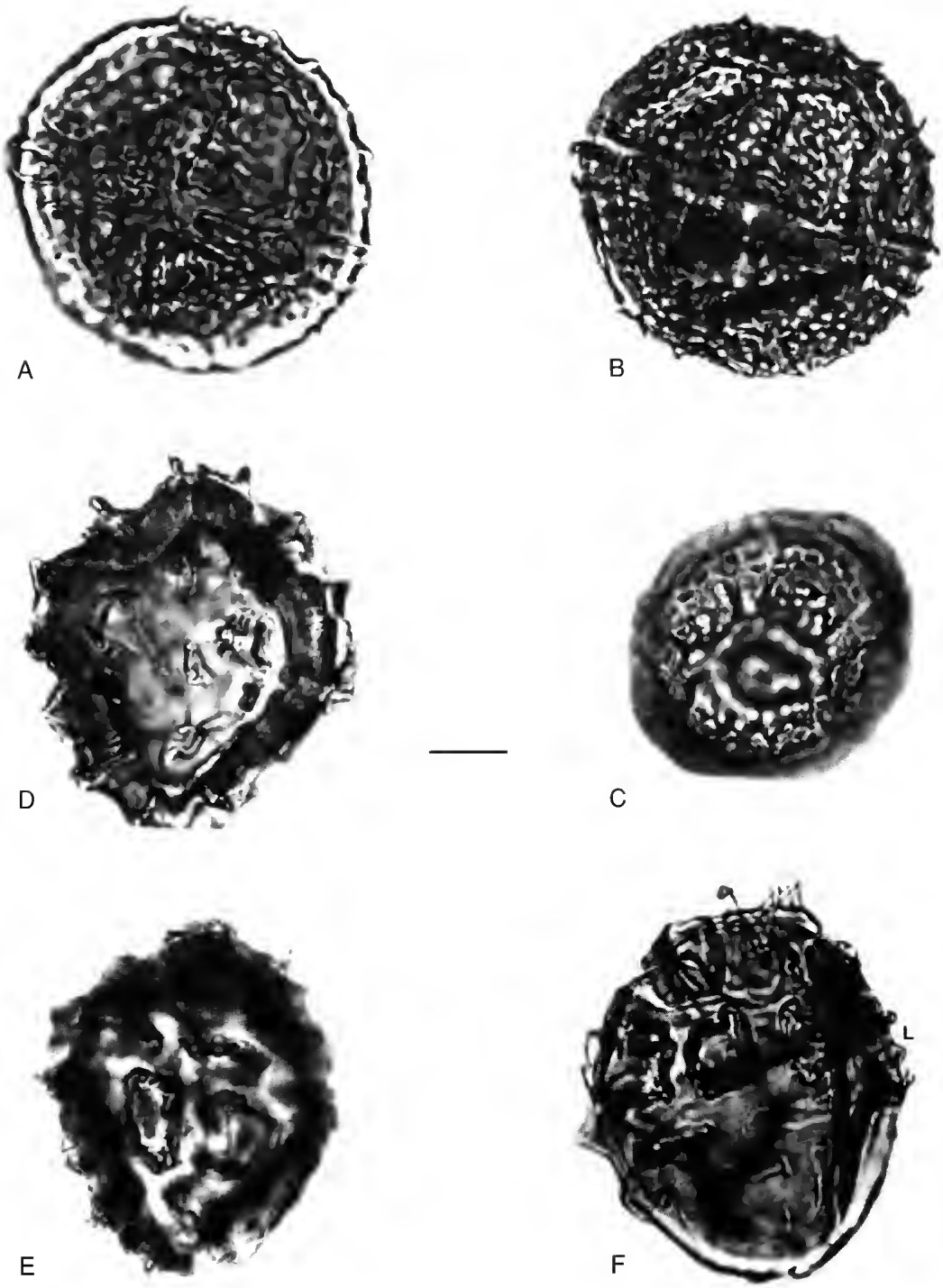


FIG. 4. — **A-C**, *Alisocysta reticulata* Damassa, 1979, Oraas, lame 12-2, F27 ; **A**, face dorsale, vue externe ; **B**, face ventrale, vue interne ; **C**, vue apicale. **D-F**, *Alisocysta circumtabulata* (Drugg, 1967) Stover *et* Evitt, 1978, Oraas, lame 12-2, T35. ; **D**, face ventrale, vue externe ; **E**, face dorsale, vue interne ; **F**, lame 12-2, H24. Échelle : 10 µm.

La présence de *Caryapollenites triangulus*, déterminée par Médus à Fontllonga, nous paraît étonnante car, en Europe, cette espèce, prise en compte parmi un nombre restreint de marqueurs, est signalée à partir du Paléocène supérieur dans la zone palynologique SP2 (Meyer 1988).

LISTE DES ESPÈCES

DINOFLAGELLÉS

Achomosphaera crassipellis (Deflandre *et* Cookson, 1955) Stover *et* Evitt, 1978
A. ramulifera (Deflandre, 1937) Evitt, 1963
Alisocysta circumtabulata (Drugg, 1967) Stover *et* Evitt 1978, Fig. 4D-F
A. reticulata Damassa, 1979, Fig. 4A-C
Amphorosphaeridium ? multispinosum (Davey *et* Williams, 1966) Sarjeant, 1981
Areoligera coronata (O. Wetzel, 1933) Lejeune-Carpentier, 1938
A. senonensis Lejeune-Carpentier, 1938
A. tenuicapillata (O. Wetzel, 1933) Lejeune-Carpentier, 1938
A. vermiculata Corradini, 1973
Cerodinium leptodermum (Vozzhennikova, 1963) Lentin *et* Williams, 1987
C. speciosum (Alberti, 1959) Lentin *et* Williams, 1987
C. striatum (Drugg, 1967) Lentin *et* Williams, 1987, Fig. 5B, C
Connexiumura fimbriata (Morgenroth, 1968) May, 1980 emend. Martreinecke, 1992
Cordosphaeridium exilimurum Davey *et* Williams, 1966
C. fibrospinosum Davey *et* Williams, 1966
C. inodes (Klumpp, 1953) Eisenack, 1963
Cyclonephelium uncinatum (Norvick, 1976) Stover *et* Evitt, 1978, Fig. 5E
C. sp., Fig. 6A, B
Cyclopsiella elliptica Drugg *et* Loeblich, 1967
C. vieta Drugg *et* Loeblich, 1967
Danea californica (Drugg, 1967) Stover *et* Evitt 1978, Figs 7A-C, 8A, B
D. impages Damassa, 1979
Diphyes colligerum (Deflandre *et* Cookson, 1955) Cookson, 1965
D. spinulum (Drugg, 1970) Stover *et* Evitt, 1978
Elytrocysta druggii Stover *et* Evitt, 1978
Exochosphaeridium bifidum (Clarke *et* Verdier, 1967) Clarke, Davey, Sarjeant *et* Verdier, 1968
E. ? solaster (Morgenroth, 1966) Stover *et* Evitt, 1978
Fibradinium annetorpense Morgenroth, 1968, Fig. 7F
Fibrocysta axialis (Eisenack, 1965) Stover *et* Evitt, 1978
F. radiata (Morgenroth, 1966) Stover *et* Evitt, 1978
F. variabilis Mehrotra *et* Sarjeant, 1987
Florentinia ferox (Deflandre, 1937) Duxbury, 1980
Glaphyrocysta ordinata (Williams *et* Downie, 1966) Stover *et* Evitt, 1978, Fig. 6C, D
Heterosphaeridium ? heteracanthum (Deflandre *et* Cookson, 1955) Eisenack *et* Kjellström, 1971, Fig. 9B
Homotryblium abbreviatum Eaton, 1976
H. bifurcatum Caro, 1973
Hystrichokolpoma bulbosum (Ehrenberg, 1838) Morgenroth, 1968
H. cinctum Klumpp, 1953
Hystrichosphaeridium tubiferum (Ehrenberg, 1838) Deflandre, 1937
Impagidinium cf. *patulum* (Wall, 1967) Stover *et* Evitt, 1978
I. pentahedrias Damassa, 1979, Fig. 10
I. sp., Fig. 11
Kallosphaeridium brevibarbatum (De Coninck, 1969) Jan du Chêne, Stover *et* De Coninck, 1985
K. nigerianense Jan du Chêne, Stover *et* De Coninck, 1985
K. sp.
Melitasphaeridium pseudorecurvatum (Morgenroth, 1966) Bujak, Downie, Eaton *et* Williams, 1980, Fig. 7G
M. sp. 1 *in* Heilmann-Clausen 1985, Fig. 7D, E
Montanarocysta aemiliana Corradini, 1972
Ochetodinium romanum Damassa, 1979, Fig. 9C-E
Oligosphaeridium complex (White, 1842) Davey *et* Williams, 1966
Operculodinium centrocarpum (Deflandre *et* Cookson, 1955) Wall, 1967
O. microtriainum (Klumpp, 1953) Islam, 1983
O. tuara (Klumpp, 1953) Stover *et* Evitt, 1978
Pervosphaeridium monasteriense Yun, 1981
Phelodinium magnificum (Stanley, 1965) Stover *et* Evitt, 1978, Fig. 5F
Phthanoperidinium crenulatum (De Coninck, 1975) Lentin *et* Williams, 1977
Pterodinium sp. C *in* Schioler *et* Wilson, 1993, Fig. 9A
Pyxidinopsis ardonense Jan du Chêne, 1987
Riculacysta sp.
Spinidinium densispinatum Stanley, 1965
Spiniferites cornutus (Gerlach, 1961) Sarjeant, 1970
cornutus Gerlach, 1961
S. hyperacanthus (Deflandre *et* Cookson, 1955) Cookson *et* Eisenack, 1974
S. katatonos Corradini, 1973, Fig. 8C
S. membranaceus (Rossignol, 1964) Sarjeant, 1970
S. multibrevis (Davey *et* Williams, 1966) Below, 1982
S. pseudofurcatus (Klumpp, 1953) Sarjeant, 1970
S. ramosus (Ehrenberg, 1838) Loeblich *et* Loeblich, 1966 *ramosus* Lentin *et* Williams, 1973
S. ramosus granosus (Davey *et* Williams, 1966) Lentin *et* Williams, 1973
S. supparus (Drugg 1967) Sarjeant, 1970
Tanyosphaeridium xanthiopyxides (O. Wetzel, 1933) Stover *et* Evitt, 1978
Forme A Benson, 1976, Fig. 5G

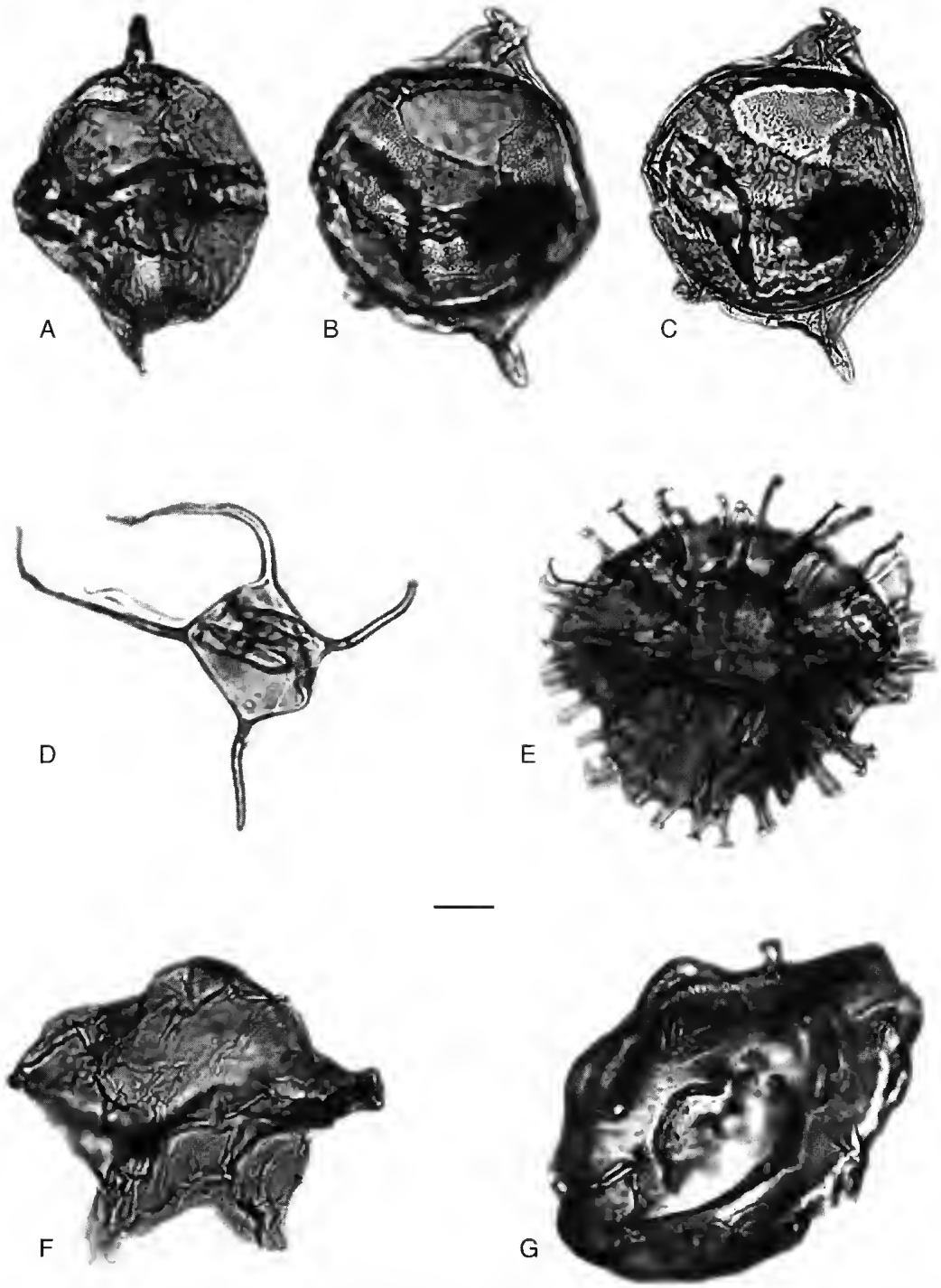


FIG. 5. — **A**, *Senegalinium microspinosum* (Boltenhagen, 1977) Lentin *et* Williams, 1980, La Cassine, lame P2-11, C42 ; **B**, **C**, *Cerodinium striatum* (Drugg, 1967) Lentin *et* Williams, 1987, Oraas, lame 12-1, O41 ; **D**, *Veryhachium hyalodermum* (Cookson, 1956), Oraas, lame 12-2, M17 ; **E**, *Cyclonephelium uncinatum* (Norvick, 1976) Stover *et* Evitt, 1978, Oraas, lame 12-1, J42 ; **F**, *Phelodinium magnificum* (Stanley, 1965) Stover *et* Evitt, 1978, Oraas, lame 12-5, W15 ; **G**, Forme A Benson, 1976, Oraas, lame 12-2, E19. Échelle : 10 µm.

ACRITARCHES
Micrhystridium sp.
Veryhachium hyalodermum (Cookson, 1956), Fig. 5D

SPORES
Leiotriletes sp.
Toroisporis sp.
Gleicheniidites sp., Gleicheniaceae
Polypodiaceoisporites sp., Pteridaceae
Stereisporites (*Distancoraesporis*) sp., Sphagnum
Stereisporites (*Stereigranisporis*) *granulus* W. Krutzsch, 1963, Sphagnum
Laevigatosporites haardti (R. Potonié *et* Venitz, 1934) Thomson *et* Pflug, 1953, Polypodiaceae

POLLENS
Inapertipollis spinaeserratus W. Krutszch *et* Vanhoorne, 1977
Pityosporites labdacus (R. Potonié, 1931) Thomson *et* Pflug, 1953, Pinus
Milfordia incerta (Thomson *et* Pflug, 1953) W. Krutzsch, 1961d, Restionaceae
M. hungarica (Kedves, 1965) W. Krutzsch *et* Vanhoorne, 1961d, Restionaceae
Caratinipollenites paleocenicus Kedves, 1982, Fig. 3C
Cavagnettoaepollenites menatensis Kedves, 1982
Corsinipollenites primigenius W. Krutzsch *et* Vanhoorne, 1977
Labraferoidaepollenites bituitus (R. Potonié, 1931a) Kedves, 1982
Nudopollis terminalis (Thomson *et* Pflug, 1953) Pflug, 1953
Plicapollis cf. *conserta* Pflug, 1953
Plicapollis pseudoexcelsus (W. Krutzsch, 1958) W. Krutzsch, 1961
Pompeckjoidaepollenites subhercynicus (W. Krutzsch, 1954) W. Krutzsch, 1967
Pseudomeinipollenites paleocenicus Kedves, 1982
Psittacolpis elaeagnoides (Zaklinskaya, 1963) Kedves, 1967
Triporopollenites robustus Pflug, 1953a
T. wehningensis Pflug, 1953
Triatriopollenites aroboratus Pflug, 1953
T. perplexus Pflug, 1953
T. roboratus Pflug, 1953
T. rurensis Pflug *et* Thomson, 1953
Subtriporopollenites anulatus Pflug *et* Thomson, 1953
S. constans Pflug *et* Thomson, 1953
S. magnoporatus (Pflug *et* Thomson, 1953) W. Krutzsch, 1961
S. magnoporatus tectopsilatus Roche, 1968
S. subporatus subporatus W. Krutzsch, 1961
Compositoipollenites minimus W. Krutzsch *et* Vanhoorne, 1977
C. rhizophorus (R. Potonié, 1934) R. Potonié, 1960
Polyvestibulopollenites eocaenicus W. Krutzsch *et* Vanhoorne, 1977
Portniaginaepollenites hungaricus Kedves, 1974
Stephanoporopollenites pentaradiatus W. Krutzsch, 1961
S. hexaradiatus (Thiergart, 1940) Thomson *et* Pflug, 1953, semitribinae W. Krutzsch, 1961
S. hexaradiatus tribinae W. Krutzsch, 1961
Tetrapollis polyangulus (Pflug, 1953) W. Krutzsch, 1967
T. validus (Pflug, 1953a) Pflug, 1953b
Pentapollenites sp.
Magnolipollis sp., Fig. 3P, Q
Psilatricolpites liblarensis (Thomson *et* Pflug, 1953) Roche *et* Schuler, 1976
Polycolpites transdanubicus Kedves, 1978
Psilatricolporites sp.
Intrabaculitricolporites baculatus (W. Krutzsch, 1961) Kedves, 1982
I. feugueuri (Gruas-Cavagnetto, 1966) Kedves, 1982
Foveotricolporites sp., Fig. 3H, I
Retitricolporites sp.
Striatricolporites sp.
Ilexpollenites erdtmani Kedves, 1978
Tetracolporopollenites sp., Sapotaceae, Fig. 3R
T. sp., Sapotaceae-Meliaceae, Fig. 3S
T. sp., Fig. 3F, G
Ericipites sp.

DINOFLAGELLÉS DU DANIEN-SELANDIEN DANS LE MONDE (C. C.)

HISTORIQUE DES TRAVAUX

Les premiers travaux sur les dinoflagellés du Paléocène basal ont concerné l'Australie (Cookson 1965) et les États-Unis (Stanley 1965) où ils se sont ensuite multipliés (Drugg 1967, 1970 ; Benson 1976 ; Firth 1976 ; Damassa 1979a, b, 1984) et étendus à l'Arctique canadien (Ioannides 1986).

Ils ont commencé presque en même temps en Europe du Nord (Morgenroth 1968) avec de nombreuses études faites sur les formations du Danemark ainsi que sur d'autres régions de Scandinavie où le Paléocène basal est bien représenté (Wilson 1971 ; De Coninck 1975 ; Hansen 1977, 1979a, b ; Kjellström & Hansen 1981 ; Heilmann-Clausen 1985 ; Hultberg 1985, 1986) puis sur la Suisse (Jan du Chêne 1977). Ils sont plus tardifs et plus rares en Europe du Sud avec les contributions de Médus *et al.* (1988) puis Gruas-Cavagnetto *et al.* (1992) sur les Pyrénées où se situe notre étude, et celle de De Coninck & Smit (1982) sur l'Espagne du Sud-Est.

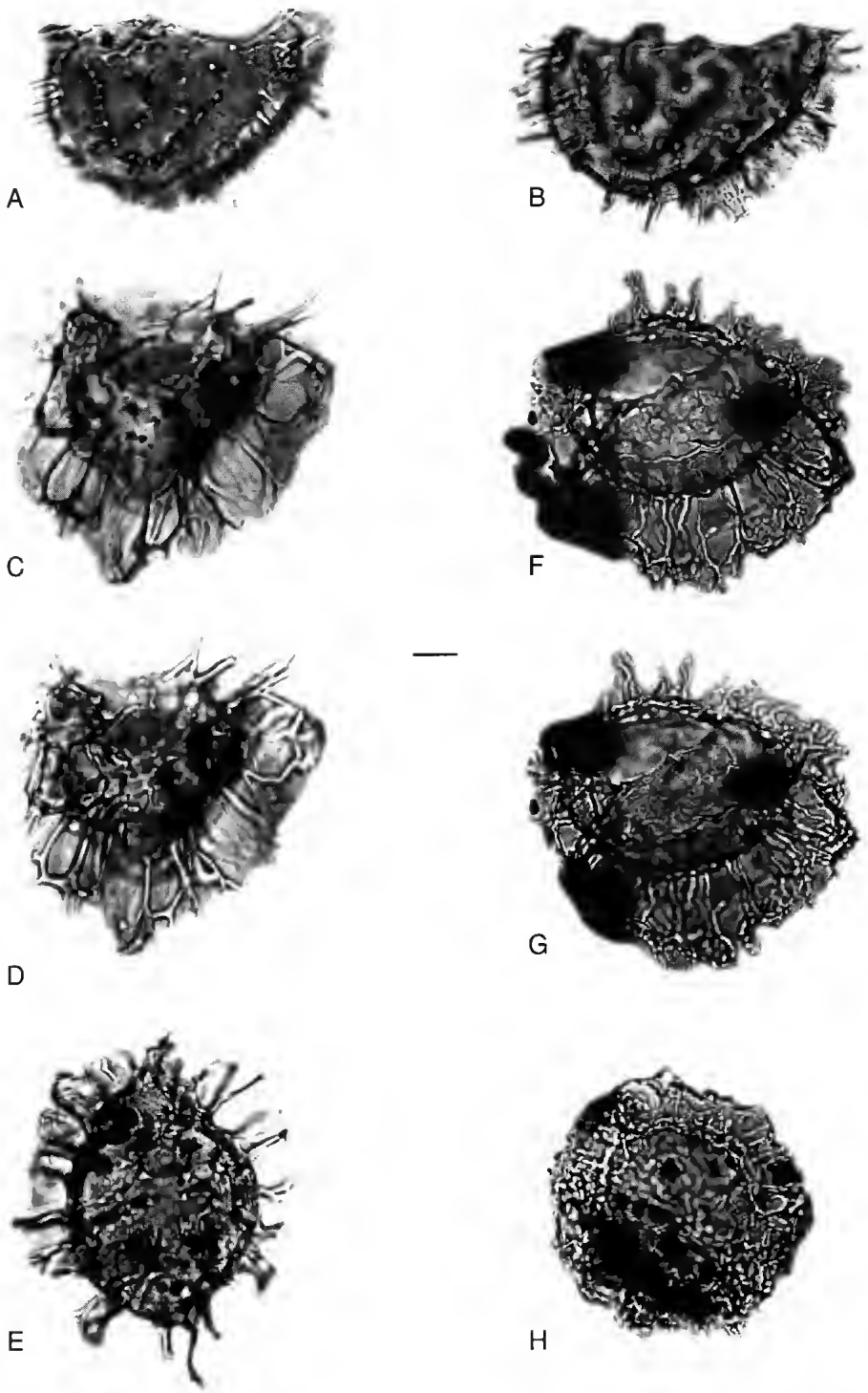


FIG. 6. — **A**, **B**, *Cyclonephelium* sp., Oraas, lame 12-1, Y30 ; **C**, **D**, *Glaphyrocysta ordinata* (Williams *et* Downie, 1966) Stover *et* Evitt, 1978, Oraas, lame 12-1, Y42 ; **E**, *Fibrocysta bipolaris* (Cookson *et* Eisenack, 1965) Stover *et* Evitt, 1978, La Cassine, lame P2-10, L28 ; **F**, **G**, *Riculacysta* sp., La Cassine, lame P2-8, T22 ; **H**, *Cyclonephelium castelcasiense* Corradini, 1973, La Cassine, lame P2-5, Z36. Échelle : 10 µm.

En Afrique, seuls ont été recensés les dinoflagellés du Paléocène basal de Tunisie (Brinkhuis & Leereveld 1988 ; Brinkhuis & Zachariasse 1988), des phosphates du Maroc (Soncini & Rauscher 1988) et du Danien du Sénégal (Jan du Chêne 1988).
Des études descriptives des dinoflagellés du Crétacé-Paléocène ont été réalisées en Inde du Sud (Mehrota & Sarjeant 1987) et plus vers l'est, en Chine, dans le bassin de Tarim, province du Xinjiang (He Cheng-quan 1984) où l'étude stratigraphique met en évidence l'absence du Paléocène inférieur (Mao Shaozhi & Norris 1988).

Comparaison entre Oraas et les autres gisements du Danien-Selandien

France : La Cassine, Ariège (Figs 1, 2B)
Les « Calcaires lithographiques » à coccolithes nains de La Cassine, dans les Petites Pyrénées, datés d'un « Danien non basal », contiennent un assemblage de dinoflagellés moins varié (cinquante-quatre espèces) que celui d'Oraas (soixante-dix espèces). Ces calcaires se sont déposés dans les eaux très peu profondes de la partie la plus interne de la plate-forme marine. L'assemblage est constitué essentiellement de *Cordosphaeridium*, *Operculodinium* et *Fibrocysta*, avec, en moindre pourcentage, *Spiniferites* et des Areoligeracées (Gruas-Cavagnetto *et al.* 1992). Parmi les formes intéressantes du point de vue stratigraphique, absentes à Oraas mais rencontrées à La Cassine, nous avons représenté *Cyclonephelium castelcasiense* (Fig. 6H), *Senegalinium microspinosum* (Fig. 5A). *C. castelcasiense* est connue dans le Crétacé supérieur des Apennins du Nord et le Danien du Sud-Est de l'Espagne. *Fibrocysta bipolaris* (Fig. 6E), présente à La Cassine mais non trouvée à Oraas, est également figurée dans ce travail.
Les espèces communes aux deux gisements sont au nombre de vingt et une : *Achomosphaera ramulifera*, *Amphorosphaeridium ? multispinosum*, *Areoligera tenuicapillata*, *A. vermiculata* (Fig. 12A, B), *Cordosbaeridium fibrospinosum*, *C. inodes*, *Danea californica* (Figs 7A-C, 8A, B), *Diphyes colligerum*, *Exochosphaeridium bifidum*, *Fibrocysta axialis*, *F. variabilis*, *Operculodinium centrocarpum*, *O. microtriainum*, *Riculacysta* (Fig. 13), *Spiniferites katatonos* (Fig. 8C), *S. membranaceus*, *S. multibrevis*, *S. ramosus granosus*, *S. ramosus ramosus*, *S. pseudofurcatus*, *S. supparus*.

Espagne du S-E : Barranco del Gredero
De Coninck & Smit (1982) constatent qu'il n'y a pas d'important changement d'association de kystes de dinoflagellés à la limite Crétacé-Tertiaire. Parmi les espèces significatives du point de vue stratigraphique, sont présentes ici comme à Oraas : *Alisocysta circumtabulata*, *Danea californica* (synonyme de *D. mutabilis*). Au total treize espèces sont communes aux deux gisements, parmi les cinquante-six espèces reconnues en Espagne. Il s'agit de : *Areoligera coronata*, *A. senonensis*, *A. tenuicapillata*, *Cerodinium speciosum*, *Cordosphaeridium fibrospinosum*, *C. inodes*, *Diphyes colligerum*, *Hystrichosphaeridium tubiferum*, *Operculodinium centrocarpum*, *O. microtriainum*, *Tanyosphaeridium xanthiopyxides*.

Europe du Nord
Morgenroth (1968) a décrit, en Europe du Nord, onze espèces nouvelles sur dix-neuf espèces recensées. Parmi celles-ci, neuf se rencontrent à Oraas : *Areoligera coronata*, *Conneximura fimbriata*, *Cordosphaeridium inodes*, *Danea californica*, *Fibradinium annetorpense*, *Hystrichokolpoma bulbosum*, *H. cinctum*, *Hystrichosphaeridium tubiferum*, *Tanyosphaeridium xanthiopyxides*.
Wilson (1971) décrit le Danien basal de Stevns Klint, au Danemark, où il reconnaît cinquante espèces de dinoflagellés. Il remarque que les associations du Danien inférieur du Danemark sont semblables à celles de la Belgique et de la Hollande avec abondance de *Spiniferites*, *Achomosphaera*, *Deflandrea cretacea* et *Svalbardella*. *Danea californica* est présente.
De Coninck (1975) a analysé le Danien supérieur de Limhamn, en Suède ; il y a reconnu trente-six espèces. Parmi celles-ci, les plus abondantes sont *Spiniferites*, 26 %, *Hystrichosphaeridium tubiferum*, 17 % et *Membranosphaera* sp. A, 5 %. On rencontre douze espèces communes à la Suède et au gisement d'Oraas : *Areoligera coronata*, *A.* cf. *senonensis*, *Cordosphaeridium inodes*, *Danea californica*, *Florentinia ferox*, *Hystrichokolpoma bulbosum*, *Hystrichosphaeridium tubiferum*, *Melitasphaeridium pseudorecurvatum*,

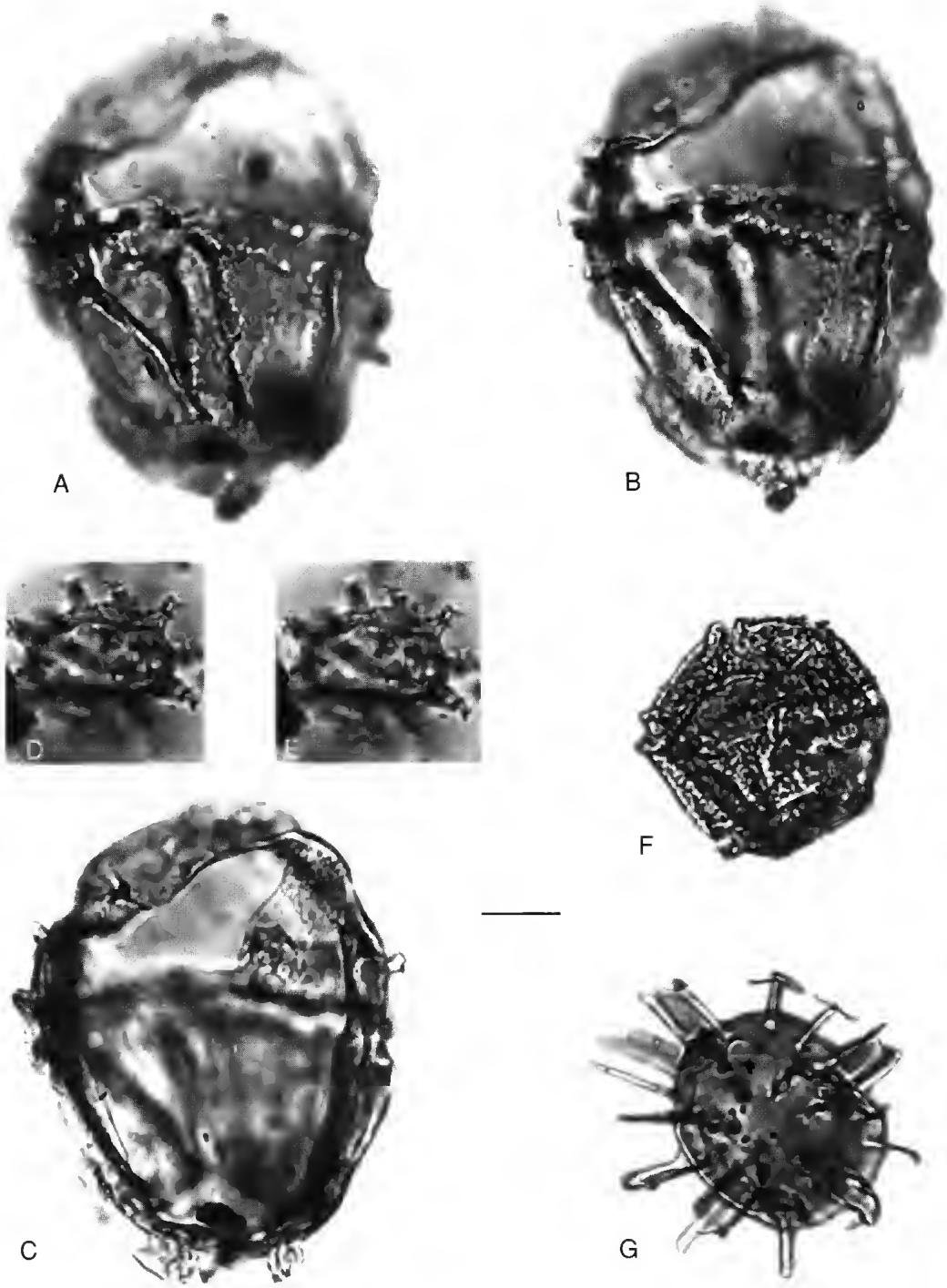


FIG. 7. — **A-C**, *Danea californica* (Drugg, 1967) Stover *et* Evitt, 1978, Oraas, lame 12-5, T58. ; **D-E**, *Melitasphaeridium* sp. 1 *in* Heilmann-Clausen, 1985, Oraas, lame 12-2, Q38 ; **F**, *Fibradinium annetorpense* Morgenroth, 1968, Oraas, lame 12-2, U54 ; **G**, *Melitasphaeridium pseudorecurvatum* (Morgenroth, 1966) Bujak, Downie, Eaton *et* Williams, 1980. Échelle : 10 µm.

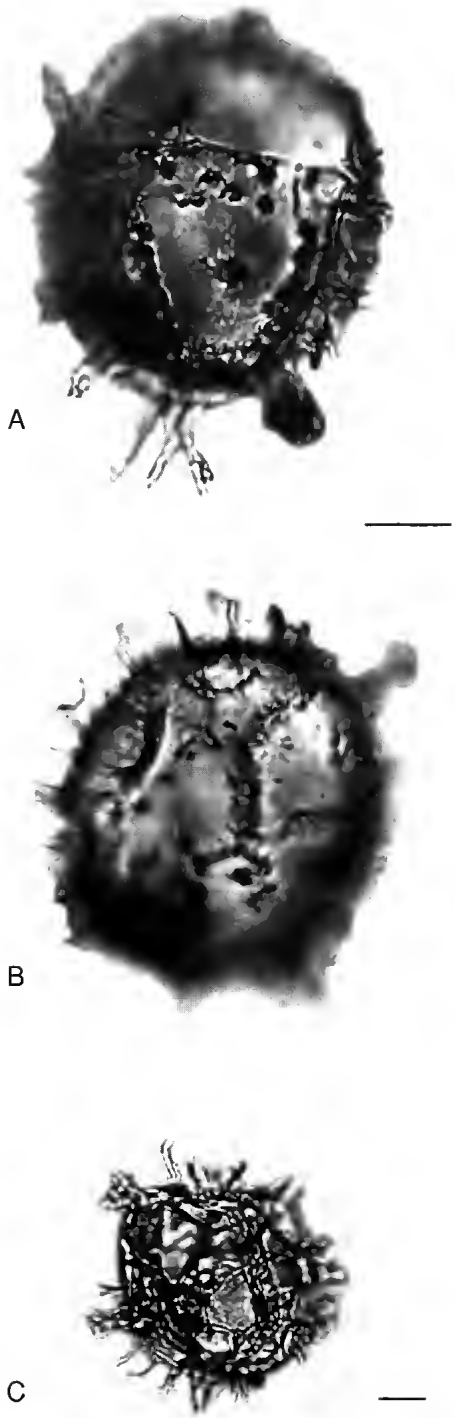


FIG. 8. — **A**, **B**, *Danea californica* (Drugg, 1967) Stover *et* Evitt, 1978, Oraas, lame 12-3, T51 ; **A**, face dorsale, vue oblique externe ; **B**, face ventrale, vue oblique interne ; **C**, *Spiniferites katatonos* Corradini, 1972, La Cassine, lame P2-6, Q56. Échelles : 10 µm.

Oligosphaeridium complex, Operculodinium centrocarpum, O. microtriainum, Tanyosphaeridium xanthiopyxides.

Hansen (1977) propose un modèle sédimentaire du Danien du Bassin danois. Du point de vue quantitatif, il remarque que la partie inférieure et moyenne du Danien contient 30 à 50 % de *Spiniferites ramosus* et la partie supérieure 20 à 34 %. Il cite quarante-cinq espèces dont seize sont communes avec Oraas : *Achomosphaera ramulifera, Areoligera coronata, A. senonensis, Cordosphaeridium fibrospinosum, C. inodes, Danea californica, Fibrocysta axialis, Fibrodinium annetorpense, Hystrichokolpoma bulbosum, Hystrichosphaeridium tubiferum, Oligosphaeridium complex, Spiniferites cornutus, S. multibrevis, S. ramosus granosus, S. ramosus ramosus, S. supparus.*

Thomsen & Heilmann-Clausen (1985) ont étudié le Danien-Selandien de Svejstrup. Selon ces auteurs, le Danien terminal est caractérisé par l'abondance du groupe *Spiniferites-Achomosphaera* qui atteint 60 %. Le passage au Selandien est marqué par une augmentation d'*Areoligera* et de *Glaphyrocysta* constituant 70 % de l'assemblage de dinoflagellés, à la base. Au-dessus, *Palaeoperidinium pyroforum, Palaeocystodinium australinum* et *Ceratiopsis speciosa* deviennent plus fréquentes.

Les auteurs signalent vingt-deux espèces importantes du point de vue stratigraphique. Parmi celles-ci, quatre sont présentes dans les « Calcaires inférieurs » d'Oraas et dans le Danien de Svejstrup (*Cerodinium striatum, Danea californica, Hystrichokolpoma bulbosum, Spiniferites cornutus*) et deux dans les « Calcaires inférieurs » et le Selandien de Svejstrup (*Cerodinium speciosum* et *Spinidinium densispinatum*).

Heilmann-Clausen (1985) décrit trente-six espèces dans le Danien terminal (NP4) à Viborg 1 dans le Jylland central. Parmi celles-ci, quinze se rencontrent aussi à Oraas : *Alisocysta circumtabulata, Areoligera coronata, A. senonensis, Cerodinium speciosum, C. striatum, Connexumura fimbriata, Danea californica, Fibradinium annetorpense, Florentinia ferox, Glaphyrocysta ordinata, Hystrichosphaeridium tubiferum, Melitasphaeridium pseudorecurvatum, Oligosphaeridium complex, Spinidinium densispinatum, Tanyosphaeridium xanthiopyxides.*

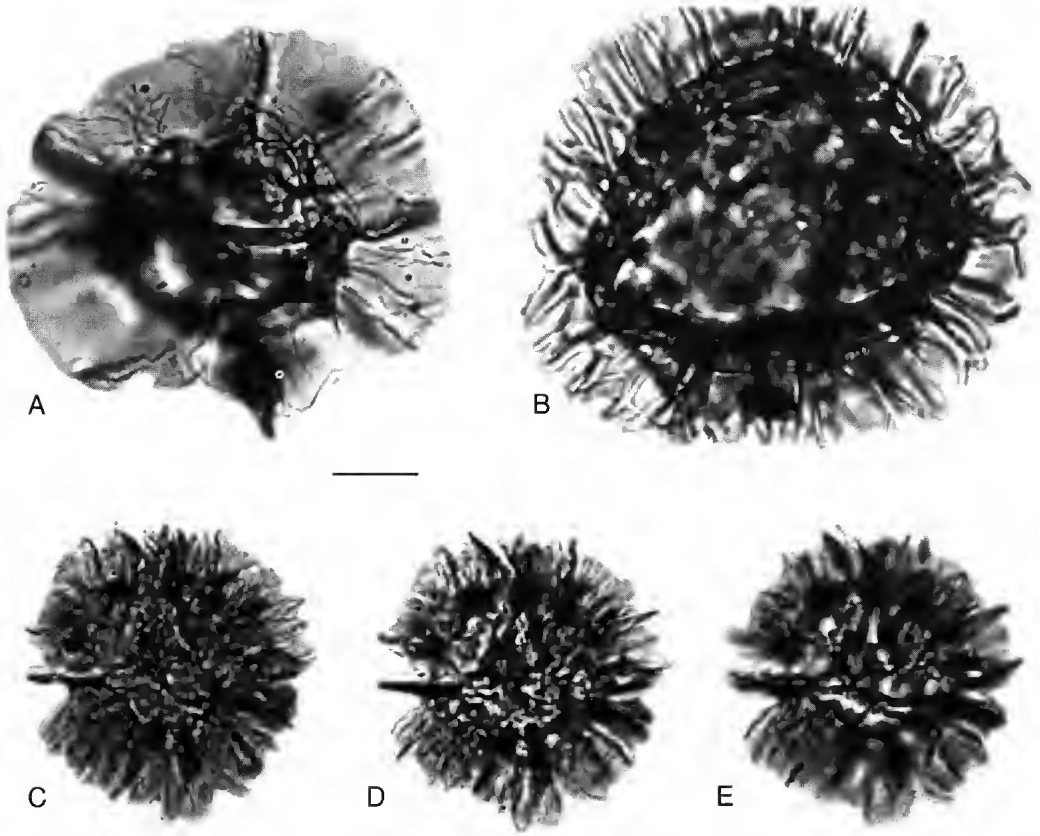


FIG. 9. — **A**, *Pterodinium* sp. C *in* Schioler *et* Wilson, 1993, Oraas, lame 12-2, Q2 ; **B**, *Heterosphaeridium* ? *heteracanthum* (Deflandre *et* Cookson, 1955) Eisenack *et* Kjellstrom, 1971, Oraas, lame 12-2, T35. ; **C-E**, *Ochetodinium romanum*, Damassa, 1979, Oraas, lame 12-2, S12. Échelle : 10 µm.

Hultberg (1986) a trouvé une section plus complète autour de la limite Crétacé-Tertiaire, dans le « *Fish clay* » (argile à poissons) formé soit dans un environnement à basse salinité (Est du Danemark), soit dans un environnement marin stable (Ouest du Danemark). Il a ajouté une zone basale au Danien par rapport à la zonation précédente. Les espèces de dinoflagellés les plus abondantes du « *Fish clay* » sont *Spiniferites ramosus*, *Senoniasphaera inornata*, *Fibrocysta axialis* et *Areoligera coronata*. Les espèces daniennes sont semblables à celles du Maastrichtien. La transition Crétacé-Tertiaire n'est pas marquée par la disparition d'un nombre important d'espèces de dinoflagellés mais par un changement dans l'abondance relative des taxa. L'auteur cite la présence de cinquante espèces sans les nommer. À partir d'une synthèse des données relatives aux dinoflagellés paléocènes des bassins voisins de la mer du Nord, Heilmann-Clausen (1994) a mis en évidence des événements permettant des corrélations à l'intérieur de la région pouvant aussi être étendues à d'autres régions du monde.

Suisse

Jan du Chêne (1977) a étudié une série allant du Maastrichtien à l'Éocène inférieur dans le canton d'Obwald en Suisse centrale. Le « Dano-Montien » (zone à *Cerodinium striatum*) contient vingt-sept espèces dont sept se rencontrent aussi à Oraas : *Areoligera coronata*, *A. senonensis*, *Cerodinium speciosum*, *C. striatum*, *Cordosphaeridium fibrospinosum*, *Hystrichokolpoma bulbosum*, *Hystrichosphaeridium tubiferum*.

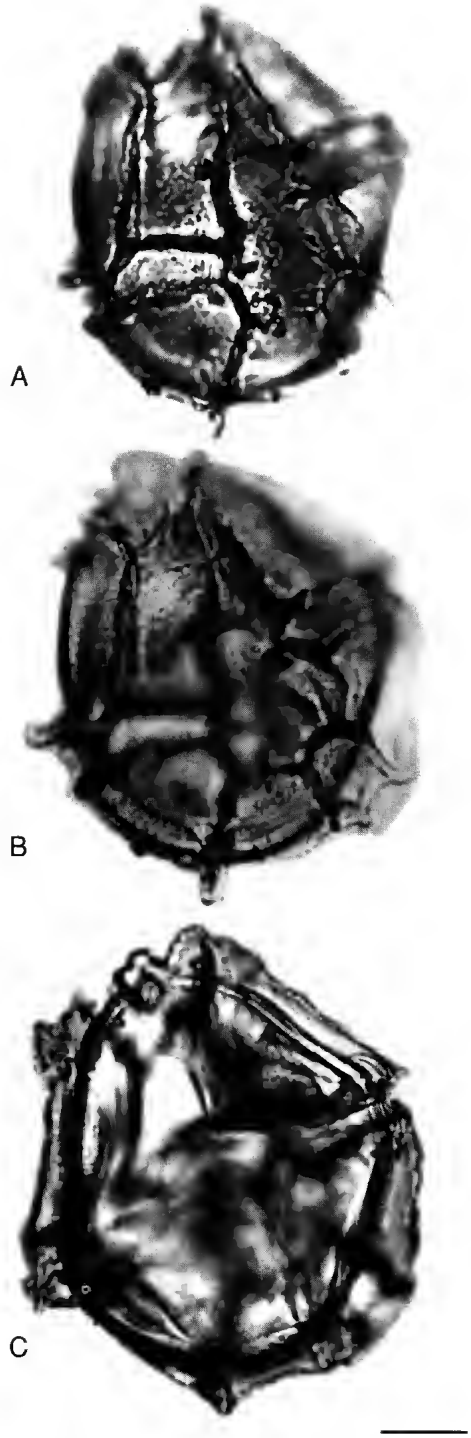


FIG. 10. — **A-C**, *Impagidinium pentahedrias* Damassa, 1979, Oraas, lame 12-1, O22. Échelle : 10 µm.

Nord-Ouest de la Tunisie

Une coupe à El Kef, où le Danien inférieur et supérieur sont représentés, a été étudiée par Brinkhuis & Leereveld (1988). Ces auteurs ont sélectionné vingt-sept formes de dinoflagellés dont six se rencontrent à Oraas. Il s'agit d'*Achomosphaera*, *Batiacasphaera*, *Alisocysta circumtabulata*, *Cerodinium speciosum*, *Danea californica*, *Phelodinium magnificum*, *Spiniferites*. L'abondance du groupe *Achomosphaera-Spiniferites* est signalée au Danien inférieur alors que le groupe *Andalusiella-Senegalinium* atteint 70 % au Danien supérieur. L'interprétation écologique de ces assemblages n'est pas donnée.

Dans la coupe d'El Haria (Brinkhuis & Zachariasse 1988), on a reconnu soixante-sept espèces dont quinze sont présentes à Oraas : *Alisocysta circumtabulata*, *Amphorosphaeridium multispinosum*, *Areoligera senonensis*, *Cerodinium speciosum*, *C. striatum*, *Cordosphaeridium exilimurum*, *C. fibrospinosum*, *C. inodes*, *Danea californica*, *Diphyes colligerum*, *Hystrichokolpoma bulbosum*, *Impagidinium pentahedrias*, *Phelodinium magnificum*, *Riculacysta*, *Spinidinium densispinatum*.

Du point de vue paléoécologique, les associations I et II, correspondant à un niveau plus bas de la mer, contiennent un pourcentage élevé de *Spiniferites-Achomosphaera*. Dans les associations III et IV, *Senegalinium* devient prédominant et atteint jusqu'à 80 % de l'assemblage. L'augmentation du pourcentage de *Senegalinium* semble correspondre à une élévation du niveau de la mer. Les auteurs ne remarquent pas de changement important au passage Crétacé-Tertiaire, ni un taux d'extinction accéléré chez les dinoflagellés.

Maroc

Dans leur étude sur les phosphates du Maroc, Soncini & Rauscher (1988) ont distingué quatre associations de dinoflagellés. Les deux premières correspondent au Maastrichtien. La troisième association rassemble, dans un même dépôt, des kystes du Maastrichtien supérieur, du Dano-Montien et du Thanétien. Ce dépôt serait fortement remanié. Le Dano-Montien est considéré dans ce travail comme un terme stratigraphique local. Il est donc difficile de trouver un sens à la

comparaison entre cette association provenant de sédiments remaniés et celle d'Oraas.

Sénégal

Jan du Chêne (1988) a décrit soixante et onze espèces dans le Danien du Sénégal. Un tiers de celles-ci, soit vingt-sept espèces, se rencontrent également à Oraas. Il s'agit de : *Achilleodinium biformoides*, *Amphorosphaeridium ? multispinosum*, *Areoligera coronata*, *A. senonensis*, *Cerodinium leptodermum*, *Cordosphaeridium exilimurum*, *Cyclonephelium uncinatum*, *Cyclopsiella vieta*, *Diphyes spinulum*, *Elytrocysta druggii*, *Exochosphaeridium bifidum*, *Fibrodinium antetorpense*, *Fibrocysta axialis*, *F. radiata*, *Florentinia ferox*, *Impagidinium patulum*, *Ochetodinium ramanum*, *Operculodinium centrocarpum*, *Phelodinium magnificum*, *Pyxidinopsis ardonense*, *Spinidinium densispinatum*, *S. cornutus normalis*, *S. hyperacanthus*, *S. multibrevis*, *S. ramosus ramosus*, *S. ramosus granosus*, *Tanyosphaeridium xanthiopyxides*.

Ce Danien s'est déposé en milieu méso-bathyal (De Klasz *et al.* 1988). Le phytoplancton est de type tropical. L'association est différente de celles connues en Europe du Nord-Ouest et aux États-Unis. Elle comprend surtout *Palaeocystodinium gaboneuse*, *Senegalinium microspinosum*, *Trichodinium delicatum*, *Trichodinium* sp. 1.

On remarque l'absence des marqueurs du Danien européen et américain comme *Palaeoperidinium pyrophorum*, *Alisocysta*, *Danea californica*. Les formes les plus abondantes y sont *Spiniferites*, *Impagidinium*, *Pterodinium*. Par analogie avec les associations récentes décrites par Wall *et al.* (1977), les *Impagidinium* sont, pour la plupart, restreints à des sédiments tropicaux et subtropicaux de plate-forme externe, de talus ou abyssaux.

Californie, États-Unis

Drugg (1967) a étudié la Formation Upper Moreno dans l'Escarpado Canyon en Californie, du Crétacé supérieur au Paléocène. Il a reconnu soixante-dix espèces dans le Danien dont quinze sont communes avec Oraas. Ce sont *Achomosphaera crassipellis*, *Alisocysta circumtabulata*, *Areoligera tenuicapillata*, *Cerodinium speciosum*, *C. striatum*, *Cordosphaeridium inodes*, *Danea*

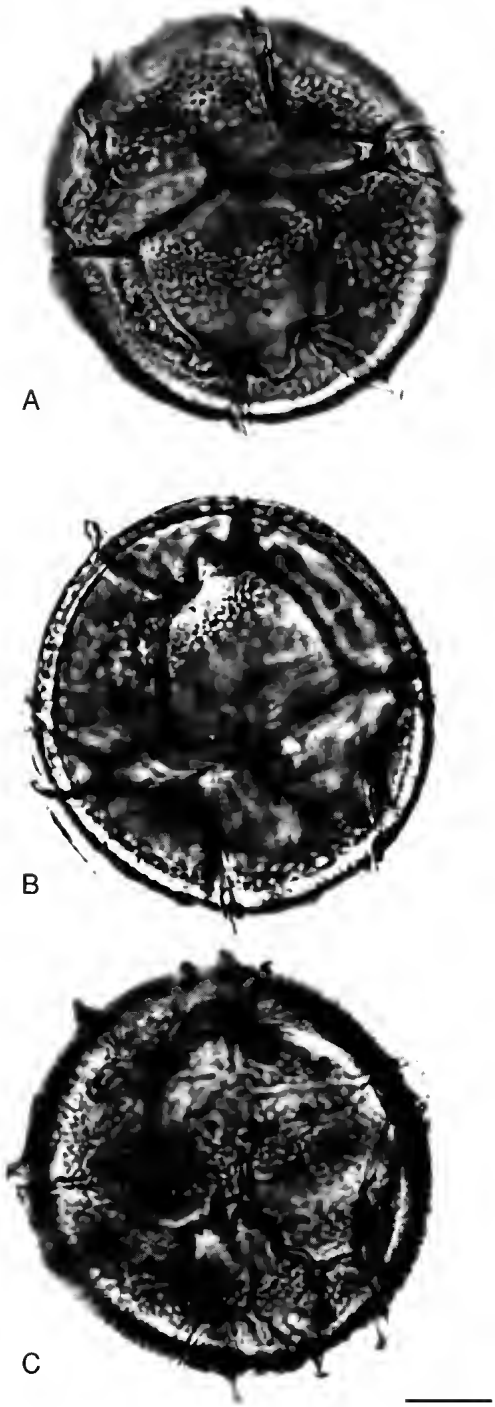


FIG. 11. — **A-C**, *Impagidinium* sp., Oraas, lame 12-2, X44. Échelle : 10 µm.

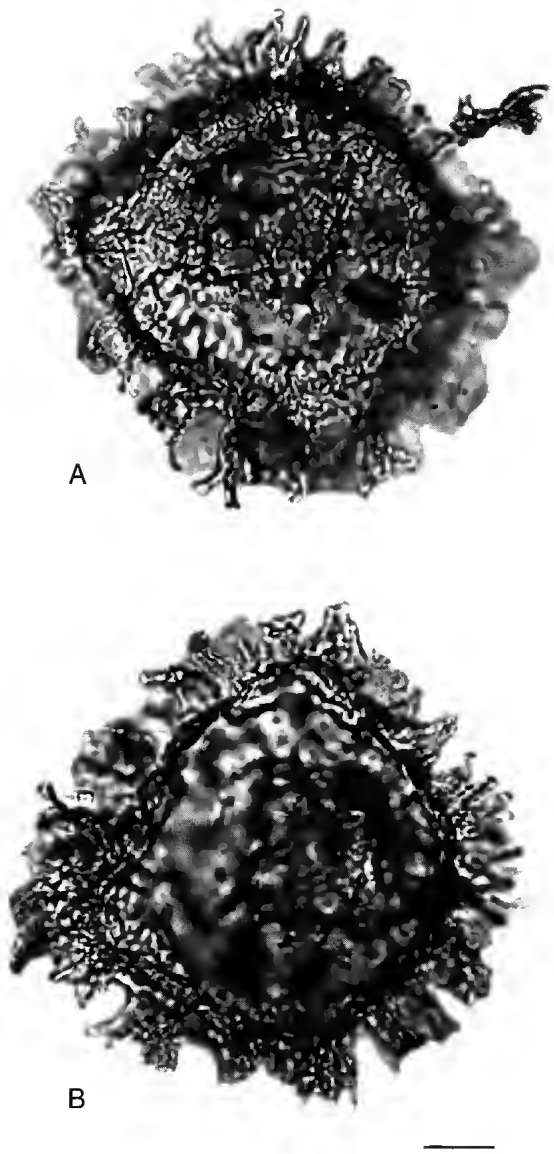


FIG. 12. — **A**, **B**, *Areoligera vermiculata* Corradini, 1973, La Cassine, lame P2-1, P53. Échelle : 10 µm.

californica, Florentinia ferox, Hystrichosphaeridium tubiferum, Operculodinium centrocarpum, Oligosphaeridium complex, Phelodinium magnificum, Spinidinium densispinatum, Spiniferites ramosus, S. supparus..

L'auteur remarque l'abondance de *Trithyrodinium evittii, Peridinium basilium* dans la partie inférieure du Danien, avec présence de *Danea californica* et de *Cribroperidinium pyrum*. Dans la partie supérieure, les espèces les plus abondantes sont *Cerodinium speciosum, Cordosphaeridium inodes* et *Glyphanodinium facetum*. Damassa (1979a, b) a rencontré, dans le « *Franciscan Complex* » (Mendocino County) un assemblage peu diversifié dans un bassin isolé. Elle cite douze espèces dont quatre sont présentes à Oraas : *Alisocysta reticulata, Danea californica, Exochosphaeridium bifidum et Impagidinium pentahedrias.*

Maryland, États-Unis

Benson (1976) rapporte trente-deux espèces dans le Paléocène inférieur de Round Bay dont onze sont présentes à Oraas. Ce sont *Cerodinium striatum, Cordosphaeridium fibrospinosum, Diphyes colligerum, Fibradinium annetorpense, Hystrichosphaeridium tubiferum, Operculodinium centrocarpum, Phelodinium magnificum, Spiniferites cornutus, S. ramosus granosus, S. ramosus ramosus,* Genre A.

Les espèces les plus représentées sont *Lanternosphaeridium lanosum, Operculodinium centrocarpum, Trichodinium hirsutum, Deflandrea echinoidea, D. pulchra, Spiniferites ramosus.*

Géorgie, États-Unis

Firth (1987) a décrit soixante-deux espèces dans le Danien inférieur de la Formation Clayton près d'Albany. Parmi celles-ci, quinze se rencontrent à Oraas : *Alisocysta circumtabulata, Conneximura fimbriata, Cordosphaeridium inodes, Diphyes colligerum, Exochosphaeridium bifidum, Fibradinium annetorpense, Hystrichosphaeridium tubiferum, Phelodinium magnificum, Spiniferites cornutus cornutus, S. hyperacanthus, S. membranaceus, S. multibrevis, S. ramosus granosus, S. ramosus ramosus* et *S. supparus*. L'auteur n'observe pas un remplacement important de taxa de phytoplancton à la limite Crétacé-Tertiaire. C'est plutôt le changement dans l'abondance relative de quelques espèces qui indique un changement dans l'environnement. Au Danien, on observe une abondance relative de *Spiniferites, Andalusiella rhombohedra* et *Micrhystridium fragile* avec le retour à des conditions marines plus ouvertes.

Archipel arctique, Canada
Ioannides (1986) a effectué une étude sur les dinoflagellés du Crétacé supérieur et du Tertiaire inférieur des îles de Bylot et de Devon, dans l'Arctique canadien. La Formation Eureka Sound est d'âge Paléocène inférieur.
1. Sur la côte du sud (« Interval IV »), l'assemblage est dominé par une ou deux espèces. Les formes les plus fréquentes sont *Cordosphaeridium*, *Thalassiphora pelagica*, *Glaphyrocysta ordinata*, *Palaeoperidinium pyrophorum*. La structure monospécifique de ces associations peut refléter l'environnement changeant près de la côte avec des fluctuations de salinité. Certaines espèces plus tolérantes à une salinité variable peuvent mieux s'adapter et devenir dominantes.
2. À Twosnout Creek (« Interval IVa »), la diversité des dinoflagellés est également limitée, mais les espèces sont représentées par beaucoup de spécimens. Il y a également des populations monospécifiques indiquant probablement un dépôt près de la côte. *Cerodinium diebelii*, *C. speciosum*, *Cordosphaeridium inodes*, *C. exilimurum*, *Thalassiphora pelagica*, *Palaeoperidinium pyrophorum*, *Areoligera*, *Glaphyrocysta* sont abondants.

Inde
Mehrotra & Sarjeant (1987) ont étudié une série Crétacé-Paléocène dans le bassin de Godavari-krishna, dans l'Andhra-Pradesh. Ils ont décrit vingt-cinq espèces dont la majorité ressemble morphologiquement à des espèces décrites en Europe, Amérique du Nord et Australie. Le Paléocène comprend huit espèces dont une seule, *Fibrocysta variabilis*, est présente à Oraas, mais les genres sont similaires. En Inde, *Fibrocysta variabilis* est abondante avec *Cyclonephelium indicum* et *Glaphyrocysta texta*.

Le tableau 1 montre, à titre indicatif, le pourcentage d'espèces communes entre le gisement « selandien » d'Oraas et ceux du Danien-Selandien mondial dont la liste complète et la description viennent d'être données.

Le nombre total d'espèces communes est fonction du nombre total d'espèces déterminées et de la richesse du gisement. Il semble néanmoins que l'on puisse discerner de grandes similitudes entre

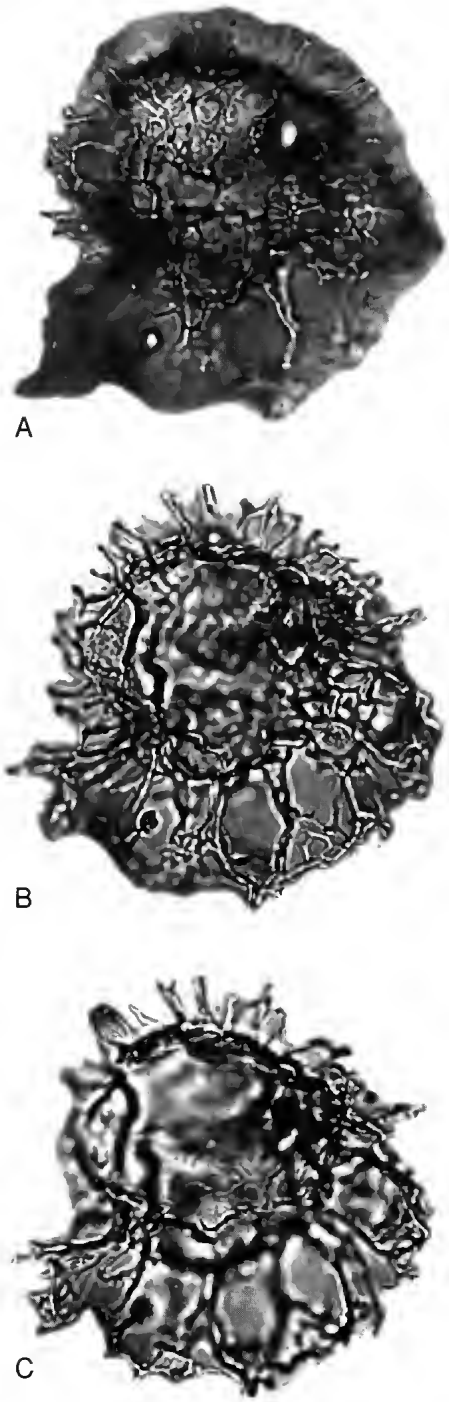


FIG. 13. — **A-C**, *Riculacysta* sp., La Cassine, lame P2-8, T22. Échelle : 10 µm.

TABLEAU 1. — Comparaison entre les dinoflagellés d'Oraas et d'autres associations du Paléocène inférieur.

Gisements	Espèces de la localité	Espèces communes avec Oraas	% espèces communes
La Cassine, France	54	22	30
Barranco del Gredero, Espagne	56	13	17
Viborg, Danemark	36	15	20
Danemark	45	16	21
Europe du Nord	19	9	12
Suède	36	12	16
Suisse	27	7	9
El Haria, Tunisie	67	15	20
El Kef, Tunisie	27	6	8
Sénégal	70	27	36
Maryland	32	11	15
Californie	70	15	20
Géorgie	62	15	20

le phytoplancton étudié et celui connu dans le Selandien d'Europe et d'Amérique du Nord. Le grand nombre d'espèces communes avec le Sénégal tient à la richesse des gisements étudiés mais concerne essentiellement des espèces ubiquistes alors que les associations sénégalaises comprennent aussi des formes restreintes à une province tropicale, absentes dans les « Calcaires inférieurs » d'Oraas.

CONSIDÉRATIONS STRATIGRAPHIQUES

Nous rappellerons brièvement d'abord la définition des biozones de dinoflagellés utilisées dans ce travail.

Pour Costa & Manum (1988), le Paléocène inférieur comprend :

– la zone D1 correspondant aux zones de nannoplancton NP1, NP2 et NP3 *pro parte*, avec, à sa base, l'apparition de *Danea californica, Fibrocysta ovalis, Hafniasphaera hyalospinosa* ;

– la zone D2 correspondant à NP3 et NP4 *pro parte* avec, à sa base, l'apparition de *Hafniasphaera cryptovesiculata, Alisocysta reticulata* ;

– la partie inférieure de la zone D3 correspondant aussi à NP4, avec, à sa base, l'apparition de *Thalassiphora delicata, Palaeotetradinium minusculum*.

La partie supérieure de la zone D3 ainsi que les zones D4 et D5 appartiennent au Paléocène supérieur.

Pour Powell (1992) qui a subdivisé le Tertiaire du domaine nord-occidental en trente-six biozones, chacune caractérisée par l'apparition d'une espèce sélectionnée et correspondant à une période de 1,8 Ma, le Paléocène comprend onze biozones. Le Paléocène inférieur ou Danien correspond, pour lui, aux zones précédentes D1 et D2 en presque totalité ainsi qu'aux zones de foraminifères planctoniques P1a à P2 et de coccolithes NP1 à NP4 ; il le subdivise en cinq biozones qu'il nomme, de la base au sommet : Cco (*Carpatella cornuta*), Tru (*Tectadodinium rugulatum*), Xlu (*Xenicodinium lubricum*), Scr (*Spiniferites cryptovesiculatus*), Cst (*Cerodinium striatum*). La base du Paléocène supérieur qui, selon lui, correspond à D3, P3a-b et NP5 est caractérisée par les zones Sde (*Spinidinium densispinatum*) et Csp (*Cerodinium speciosum*).

Williams *et al.* (1993) ont réalisé un tableau synthétique de répartition des dinoflagellés pour l'hémisphère nord. Parmi les espèces limitées au « Danien » (Paléocène inférieur, donc Danien-Selandien) dans ce tableau, trois sont présentes dans le calcaire d'Oraas. Il s'agit de *Danea californica, Conneximura fimbriata* et *Hystrichokolpoma bulbosum*.

D'après le tableau de synthèse de Powell (1992), valable surtout pour la Grande-Bretagne mais, en ce qui concerne le Paléocène, également pour l'Europe, le gisement d'Oraas appartiendrait à la zone Sde qu'il place à la base de D3 et du Paléocène supérieur, en raison de la présence de *Spinidinium densispinatum*. Or trois espèces de dinoflagellés présentes à Oraas débutent dans la zone D2 et, plus précisément, dans les zones Scr pour deux espèces (*Alisocysta reticulata* et *Cerodinium striatum*) et Cst pour une autre (*Spiniferites supparus*). Toujours d'après le tableau de Powell (1992), deux espèces présentes à Oraas, *Alisocysta circumtabulata* et *Spinidium densispinatum* apparaissent dans Sde qui coïncide avec la base de D3. Si l'on se réfère au tableau de synthèse pour l'Europe occidentale de

l'IGCP 124 (Costa & Manum 1988), *Danea californica* ne dépasse pas la zone D2. *Alisocysta reticulata* y est limitée. Quant à *Cerodinium speciosum*, il débute dans D3.

En conclusion, on peut envisager l'appartenance du sommet des « Calcaires inférieurs » d'Oraas à la zone D2 *sensu* Powell (1992) en raison de la présence d'*Alisocysta reticulata* et de *Spiniferites supparus* ou D3 en raison de celle de *Spinidinium densispinatum* et de *Alisocysta circumtabulata*. La première apparition étant, pour cet auteur, l'événement important dans la zonation, ces calcaires devraient donc être attribués à D3. Remarquons cependant que, datés par ailleurs des zones P3b et NP4, ils appartiennent au sommet du Paléocène inférieur (Selandien) et non au Thanétien, âge attribué à la zone D3 corrélée avec les zones P3a et NP5 dans le tableau de Powell.

Au contraire, si l'on retient le tableau de Williams *et al.* (1993), deux espèces, *Danea californica* et *Hystrichokolpoma bulbosum*, n'atteignent pas le quart supérieur du Danien.

D'après les pollens, l'association à *Subtriporopollenites magnoporatus* et *S. subporatus* dominants caractérise le Paléocène et l'espèce *Tetrapoliis validus* est connue depuis la zone palynologique 4 du « Dano-Montien » de W. Krutzsch *in* Döring *et al.* 1966 qui comprend les zones 1 à 7a, définies dans la formation Wülperer (Nord de l'ancienne Allemagne de l'Est).

CONCLUSION

Le sommet des « Calcaires inférieurs » d'Oraas a fourni des foraminifères planctoniques de la zone P3b (Canudo & Molina *in* Tambareau *et al.* 1994) et des coccolithes de la partie supérieure de la zone NP4 (M.-P. Aubry *in litteris*) ; ils se placent donc à la base du Selandien, le Danien étant maintenant limité aux zones P1 et P2, NP1-partie inférieure de NP4. La comparaison de son association de dinoflagellés avec les associations recensées dans divers tableaux de répartition stratigraphique des dinoflagellés en Europe paraît plus délicate à établir. En nous fondant sur les tableaux synthétiques de répartition des dinoflagellés (Costa & Manum 1988 ; Powell 1992) nous ne pouvons pas trancher au sujet de l'appartenance du sommet des « Calcaires inférieurs » étudié soit à la zone D2, soit à la zone D3. En effet, sont présentes, dans ces « Calcaires inférieurs », des espèces limitées ou ne dépassant pas la zone D2 (*Spiniferites supparus*, *Alisocysta reticulata*) ainsi que des espèces débutant dans la zone D3 (*Spinidinium densispinatum*, *Alisocysta circumtabulata*). Quant à *Danea californica*, présente à Oraas, sa limite supérieure coïncide avec la base de D3. Étant donné l'appartenance de ces formations aux zones P3b, elles devraient se placer dans la zone D3, *Alisocysta reticulata* persistant ici plus longtemps que dans les régions prises en compte dans les tableaux de répartition élaborés par Powell (1992) et *S. densispinatum* apparaissant dans la zone D3 dans ce même tableau.

Au Danien-Selandien, les dinoflagellés d'Europe et d'Amérique du Nord présentent de grandes similitudes ; cependant les comparaisons sont difficiles car les associations dépendent non seulement de la température des eaux mais également de leur profondeur.

Remerciements

Les auteurs sont redevables à M.-P. Aubry, J. Canudo et E. Molina ainsi qu'à L. Hottinger pour leurs déterminations des coccolithes, des foraminifères planctoniques et des foraminifères benthiques qui ont permis une datation précise de ce gisement. La coupe des « Calcaires inférieurs » est fortement inspirée du dessin de Ph. Razin et J. Roger qui nous ont accompagnées sur le terrain et que nous remercions. Nous remercions également les deux rapporteurs, J. Dejax et E. Masure, pour leur conseil.

RÉFÉRENCES

Benson D. G. 1976. — Dinoflagellate taxonomy and biostratigraphy at the Cretaceous-Tertiary boundary, Round Bay, Maryland. *Tulane Studies in Geology and Paleontology* 12: 169-233.

Boltenhagen C. 1966. — *Contribution à l'étude stratigraphique et structurale du flanc nord de l'Anticlinal de Saint-Palais (Basses-Pyrénées)*. Thèse 3e cycle, Paris. 248 p.

Brinkhuis H. & Leereveld H. 1988. — Dinoflagellate cysts from the Cretaceous/Tertiary boundary

sequence of El Kef, Northwest Tunisia. *Review of Palaeobotany and Palynology* 56: 5-19.

Brinkhuis H. & Zachariasse W. J. 1988. — Dinoflagellate cysts, sea level changes and planktonic foraminifers across the Cretaceous-Tertiary boundary at El Haria, Northwest Tunisia. *Marine Micropaleontology* 13: 153-191.

Cookson I. C. 1965. — Cretaceous and Tertiary microplankton from southeastern Australia. *Proceedings of the Royal Society of Victoria* 78: 137-141.

Costa L. I. & Manum S. B. 1988. — The description of the interregional zonation of the Paleogene (D1-D15) and the Miocene (D6-D20), *in* Vinken R. (ed.), The Northwest European Tertiary Basin, *Geologisches Jahrbuch* A 100: 321-330.

Damassa S. P. 1979a. — Eocene dinoflagellates from the coastal belt of the Franciscan complex, Northern California. *Journal of Paleontology* 53: 815-840.

— 1979b. — Danian dinoflagellates from the Franciscan complex, Mendocino County, California. *Palynology* 3: 191-207.

— 1984. — Morphologic variability and paraplate configuration of the dinoflagellate genus *Danea* Morgenroth, 1968. *Palynology* 8: 51-69.

De Coninck J. 1975. — Organic-walled microfossils from the Upper Danian and Middle Paleocene of Southern Sweden. *Geologische Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 97: 326-333.

De Coninck J. & Smit J. 1982. — Marine organic-walled microfossils at the Cretaceous-Tertiary boundary in the Barranco del Gredero (S. E. Spain). *Geologie en Mijnbouw* 61: 173-178.

De Klasz I., De Klasz S., Colin J.-P., Jan du Chêne R., Ausseil-Badie J., Bellion Y. & Peypouquet J.-P. 1988. — Apports de la micropaléontologie (foraminifères, ostracodes, dinoflagellés) à la connaissance stratigraphique et paléoécologique de la Formation des Madeleines (Danien du Sénégal). *Cahiers de Micropaléontologie* 2 : 5-27.

Delacotte O. 1982. — *Étude magnétostratigraphique et géochimique de la limite Crétacé-Tertiaire de la coupe de Bidart (Pyrénées-Atlantiques)*. Thèse, Paris, n° 8218, 162 p.

Döring H., Krutzsch W., Mai D. H. & Schulz E. 1966. — Die Sporenstratigraphische Gliederung des älteren Tertiär im nördlichen MittelEuropa (Paläozän-Mitteloligozän). Methodische grundlagen und gegenwärtiger stand der Untersuchugen. *Abhandlungen des zentralen geologischen Instituts* H 8: 112-149.

Drugg W. S. 1967. — Palynology of the Upper Moreno Formation (Late Cretaceous-Paleocene) Escarpado Canyon, California. *Palaeontographica* B 120: 1-71.

Firth J. V. 1987. — Dinoflagellate biostratigraphy of the Maastrichtian to Danian interval in the U. S. geological survey, Albany core, Georgia, U. S. A. *Palynology* 11: 199-216.

Fondecave-Wallez M. J. 1994. — Les séquences de dépôt des Marnes de Nay (Maastrichtien supérieur) près d'Oraas (Pyrénées-Atlantiques) et leur chronologie. *Strata* (1) 6: 113, 114.

Gruas-Cavagnetto C., Tambareau Y. & Villatte J. 1992. — Découverte de pollens, dinoflagellés et foraminifères dans le Danien des Petites Pyrénées : implications sur la position de la limite Crétacé-Tertiaire. *Geobios* Mémoire spécial 14 : 19-28.

Hansen J. M. 1977. — Dinoflagellate stratigraphy and echinoid distribution in Upper Maastrichtian and Danian deposits from Denmark. *Bulletin of the geological Society of Denmark* 26: 1-26.

— 1979a. — A new dinoflagellate zone at the Maastrichtian/Danian boundary in Denmark. *Danmarks geologische Undersogelse*, ARBOG 1978: 131-140.

1979b. — Dinoflagellate zonation around the boundary: 136-141, *in* Birkelund T. & Bromley R. G. (eds). *Cretaceous-Tertiary boundary events. I. The Maastrichtian and Danian of Denmark*. University of Copenhagen.

He Cheng-Quan 1984. — Some new genera of Late Cretaceous to Eocene microphytoplankton from western Tarim Basin in Southern Xinjiang. *Acta Palaeontologica Sinica* 23: 768-774.

Heilmann-Clausen C. 1985. — Dinoflagellate stratigraphy of the Uppermost Danian to Ypresian in the Viborg 1 borehole, Central Jylland, Denmark. *Danmarks geologische Undersogelse* A 7: 1-39.

— 1994. — Review of Paleocene dinoflagellates from the North Sea region. *Geologischa Föreningens Stockholm Förhandlingar* 116: 51-53.

Hultberg S. U. 1985. — *Dinoflagellate studies of the Upper Maastrichtian and Danian in Southern Scandinavia*. Department of Geology, University of Stockholm, 189 p.

— 1986. — Danian dinoflagellate zonation, the C-T boundary and the stratigraphical position of the fish clay in Southern Scandinavia. *Journal of Micropaleontology* 5: 37-47.

Ioannides N. S. 1986. — Dinoflagellate cysts from Upper Cretaceous-Lower Tertiary sections, Bylot and Devon Islands, Arctic Archipelago. *Geological Survey of Canada* 371: 1-25.

Jan du Chêne R. 1977. — Palynostratigraphie (Maastrichtien-Eocène inférieur) des flyschs du Schlieren (Canton d'Owald, Suisse centrale). *Revue de Micropaléontologie* 20 : 147-156.

— 1988. — Étude systématique des kystes de dinoflagellés de la Formation des Madeleines (Danien du Sénégal). *Cahiers de Micropaléontologie* 2 : 147-231.

Kjellstrom G. & Hansen J. M. 1981. — Dinoflagellate biostratigraphy of the Cretaceous-Tertiary boundary in Southern Scandinavia. *Geologiska Föreningens Stockholm Förhandlingar* 103: 271-278.

Kothe A. 1990. — Paleogene dinoflagellates from Northwest Germany. Biostratigraphy and

Paleoenvironment. *Geologisches Jahrbuch* A 118: 1-111.

Mao Shaozhi & Norris G. 1988. — Late Cretaceous to Early Tertiary Dinoflagellates and Acritarchs from the Kashi area, Tarim Basin, Xinjiang Province, China. *Royal Ontario Museum, Life Sciences Contributions* 150: 1-92.

Médus J., Feist M., Rocchia R., Batten D. J., Boclet D., Colombo F., Tambareau Y. & Villatte J. 1988. — Prospects for recognition of the palynological Cretaceous/Tertiary boundary and an iridium anomaly in nonmarine facies of the eastern Spanish Pyrénées: a preliminaty report. *Newsletter Stratigraphy* 18 (3): 123-138.

Mehrotra N. C. & Sarjeant W. A. S. 1987. — Late Cretaceous to Early Tertiary dinoflagellate cysrs from Narasapur Well-1, Godavarikrishna Basin, South India. *Geobios* 20 : 149-191.

Meyer K. J. 1988. — The description of the interregional zonation of the Paleogene (SP zones 1-8). Pollen and spores, *in* Vinken R., The Northwest European Tertiary Basin, *Geologishes Jahrbuch* A 100: 288-294.

Morgenroth P. 1968. — Zur kenntnis der Dinoflagellates und Hystrichosphaeridien des Danien. *Geologisches Jahrbuch* 86: 533-578.

Powell A. 1992. — *A stratigraphic index of Dinoflagellate cysts*, Chapman & Hall Editors, London & New York, 289 p.

Roche E. 1969. — Étude palynologique de sédiments du Montien continental et du Landénien supérieur en Hainaut. *Bulletin de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie* 78 : 131-146.

Serra-Kiel J., Hottinger L., Caus E., Drobne K., Ferrandez C., Jauhri A. K., Less G., Pavlovec R., Pignatti J., Samso J. M., Schaub H., Sirel E., Strougo A., Tambareau Y., Tosquella J., Zabrevskaya E. 1997. — Larger Foraminifera biostratigtaphy of the Tethyan Paleocene and Eocene. *Bulletin de la Société géologique de France* (sous presse).

Soncini M.-J. & Rauscher R. 1988. — Associations de dinokystes du Maastrichtien-Paléocène phosphaté au Maroc. *Bulletin des centres de recherches Exploration-Production, Elf-Aquitaine* 12 : 427-450.

Stanley E. A. 1965. — Upper Cretaceous and Paleocene plant microfossils and Paleocene dinoflagellates and hystrichosphaerids ftom Northwestern South Dakota. *Bulletins of American Paleontology* 49: 179-384.

Tambareau Y., Canudo J., Gruas-Cavagnetto C., Hottinger L. & Molina E. 1994. — Excursion to Béarn: Narp, Nouts-Oraas, Gave d'Oloron valley *in Meeting in Aspet, Field trip guide book*, Sept. 1994: 33-39.

Tambareau Y., Hottinger L., Rodriguez J., Villatte J., Babinot J.-F., Colin J.-P, Garcia E., Rocchia R. & Guerrero N. 1977. — Communautés fossiles benthiques aux alentouts de la limite Crétacé/Tertiaire dans les Pyrénées. *Bulletin de la Société géologique de France* 160 : 795-804.

Thomsen E. & Heilmann-Clausen C. 1985. — The Danian-Selandian boundary at Svejstrup with remarks on the biostratigraphy of the boundary in wesrern Denmark. *Bulletin of the geological Society of Denmark* 33: 341-362.

Wall D., Dale B., Lohmann G. P. & Smith W. K. 1977. — The environmental and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern marine sediments from tegions in the North and South Atlantic Oceans and adjacent seas. *Marine Micropaleontology* 2: 121-200.

Williams G. L. 1977. — Dinocysts: theit paleontology, biostratigraphy and paleoecology: 1231-1235, *in Oceanic Micropaleontology*, Ramsay, A. T. S. Edition, London.

Williams G. L., Stover L. E. & Kidson E. J. 1993. — Morphology and stratigraphic ranges of selected Mesozoic-Cenozoic Dinoflagellate taxa in the Northern hemisphere. *Geological Survey of Canada*, Papet 92-10: 1-137.

Wilson G. J. 1971. — Obsetvations on European Late Cretaceous Dinoflagellate cysts: 1259-1275, *in* Farinacci A. (ed.), *Proceedings of the second Planktonic Conference, 1970*. Tecnoscienza, Roma.

Soumis pour publication le 13 octobre 1997 ;
accepté le 10 novembre 1997.

Le Toarcien inférieur des régions de Bascharage et de Bettembourg (grand-duché du Luxembourg) : évidences paléontologiques et sédimentologiques d'environnements restreints proches de l'émersion

Michel HENROTAY* & Dalia MARQUES
8 rue de Bouny, B-4624 Romsée (Belgique)
* Laboratoire d'Entomologie fondamentale et appliquée, Muséum national d'Histoire naturelle, 45 rue de Buffon, F-75231 Paris cedex 05 (France)

Jean-Claude PAICHELER
Laboratoire de Dynamique des bassins sédimentaires, université de Reims Champagne-Ardenne, UFR Sciences, BP 347, F-51062 Reims cedex (France)

Jean-Claude GALL
Laboratoire de Paléontologie et de Sédimentologie, université Louis-Pasteur de Strasbourg, Institut de Géologie, 1 rue Bleissig, F-67084 Strasbourg cedex (France)

André NEL
Laboratoire d'Entomologie fondamentale et appliquée, Muséum national d'Histoire naturelle, 45 rue de Buffon, F-75231 Paris cedex 05 (France)

Henrotay M., Marques D., Paicheler J.-C., Gall J.-C. & Nel A. 1998. — Le Toarcien inférieur des régions de Bascharage et de Bettembourg (grand-duché du Luxembourg) : évidences paléontologiques et sédimentologiques d'environnements restreints proches de l'émersion. *Geodiversitas* 20 (2) : 263-284.

MOTS CLÉS
Lias,
Toarcien inférieur,
Luxembourg,
faune,
flore,
stratigraphie,
taphonomie,
paléoenvironnement.

RÉSUMÉ
Le paléoenvironnement du « *Konservat-Lagerstätten* » à insectes fossiles du Toarcien inférieur de Bascharage (Luxembourg) est reconstruit à partir de l'analyse de sa stratigraphie et de sa faune. Il correspond à un bref épisode d'émersion au cours du processus de comblement d'un fond de golfe.

KEY WORDS
Lias,
Lower Toarcian,
Luxembourg,
fauna,
flora,
stratigraphy,
taphonomy,
palaeoenvironment.

ABSTRACT
The lower Toarcian of Bascharage and Bettembourg (Great Duchy of Luxembourg) : palaeontologic and sedimentologic evidences of restricted environments near emersion. A reconstruction of the palaeoenvironment of the insects "*Konservat-Lagerstätten*" from the lower Toarcian of Bascharage (Luxembourg) is proposed after the analysis of the stratigraphy and the fauna. It corresponds to an emersion episode during the process of filling of a bay.

INTRODUCTION

Le Toarcien inférieur du grand-duché du Luxembourg a fait l'objet de récoltes paléontologiques menées par deux d'entre nous (M. H. & D. M.) entre 1980 et 1994 à l'occasion du creusement des fondations de deux usines (Luxgard I et TDK) sur le site industriel de Bommelscheuer, à Bascharage (Fig. 1). Ces recherches se sont élargies à la région de Bettembourg (implantation de l'unité Luxgard II) située à 15 km à l'est de Bascharage. D'autres gisements ont également été visités, en particulier à Sanem (construction d'un viaduc), à 2,5 km au sud-est de Bascharage et dans les environs immédiats de Bettembourg (échangeur autoroutier) et de Esch-sur-Alzette.

Une importante faune d'invertébrés et de vertébrés marins qui associe lamellibranches, ammonites, actinoptérygiens, ichthyosaures et crocodiliens à des organismes terrestres parfois très abondants (insectes, fragments possibles de ptérosauriens, plantes, débris ligneux) a été inventoriée.

Cette variété d'organismes aux milieux de vie très contrastés pose la question de la genèse de leurs gisements car il est exceptionnel que soient préservés ensemble des insectes terrestres et des vertébrés marins. De par cette particularité, les gisements de Bascharage et de Bettembourg se différencient nettement des « schistes à posidonies » du Toarcien inférieur d'Holzmaden-Ohmden (Allemagne) qui, très riches en organismes marins parfaitement conservés, n'ont pas livré d'insectes (Gall 1979), à l'exception de quelques individus observés dans les schistes à posidonies de Bavière (R. Wild com. orale, 1993). Ils offrent par contre certaines analogies avec les gisements du Toarcien inférieur du Yorkshire (Angleterre) étudiés par Hallam (1967) et de Kerkhofen-Oberpfalz en Bavière (Brachert 1987) qui ont livré une riche entomofaune.

Les calcaires lithographiques du Jurassique supérieur de Bavière (Solnhofen, Eischtätt) en Allemagne sont l'un des exemples les plus célèbres d'un tel mélange faunique. Leur genèse reste controversée (Barthel *et al.* 1990 ; Viohl 1990, 1992), bien qu'une majorité d'auteurs s'entende pour les considérer comme un dépôt de bassins développés en arrière d'un récif de spongiaires, à proximité de terres émergées d'où provenaient les organismes terrestres tels les *Archaeopteryx* et les insectes. Il est admis que les écosystèmes microbiens ont joué un rôle essentiel dans la genèse de ces gisements (Keupp 1977 ; Allison 1988 ; Wollanke & Zimmerle 1990), mais il faut savoir que les processus taphonomiques à l'origine des gisements à insectes sont peu connus, car insuffisamment étudiés.

LES SÉRIES DE BASCHARAGE ET DE BETTEMBOURG : ASPECTS SÉDIMENTOLOGIQUES ET PALÉONTOLOGIQUES

Les séries sédimentaires de Bascharage et de Bettembourg sont essentiellemenr consrituées de laminites (« schistes carton »). Seuls deux niveaux à nodules calcaires situés à la base de la série et un horizon à lentilles calcaires localisées dans la partie supérieure (Fig. 2, horizons Nod. 1, Nod. 2 et Lent.) interrompent la monotonie de cette sédimentation. Des dépôts du même type ont été fréquemment signalés dans les marnes noires de la série liasique du Dorset en Angleterre (Lang & Spath 1926). Les nodules sont riches en gros vertébrés marins (poissons, ichtyosaures, crocodiliens, etc.) alors que les lentilles recèlent un mélange d'organismes marins (actinopterygiens, « reptiles », crustacés, pontes et premiers stades de céphalopodes) et terrestres (végétaux et insectes à Bascharage, végétaux uniquement à Bettembourg). L'identité lithologique de ces différents repères permet de corréler correctement les séries (Fig. 2).

LA SÉRIE DE BASCHARAGE
(sites de « Luxgard I » et « TDK »)

LE MEMBRE INFÉRIEUR (les marnes bleues à *Dactylioceras*)

D'une puissance totale de 6,5 m, la série toarcienne de Bascharage débute par un niveau de marnes bleues silteuses (1,5 m) à *Dactyloceras semicelatum* et *Dactylioceras tenuicostatum*. Ces

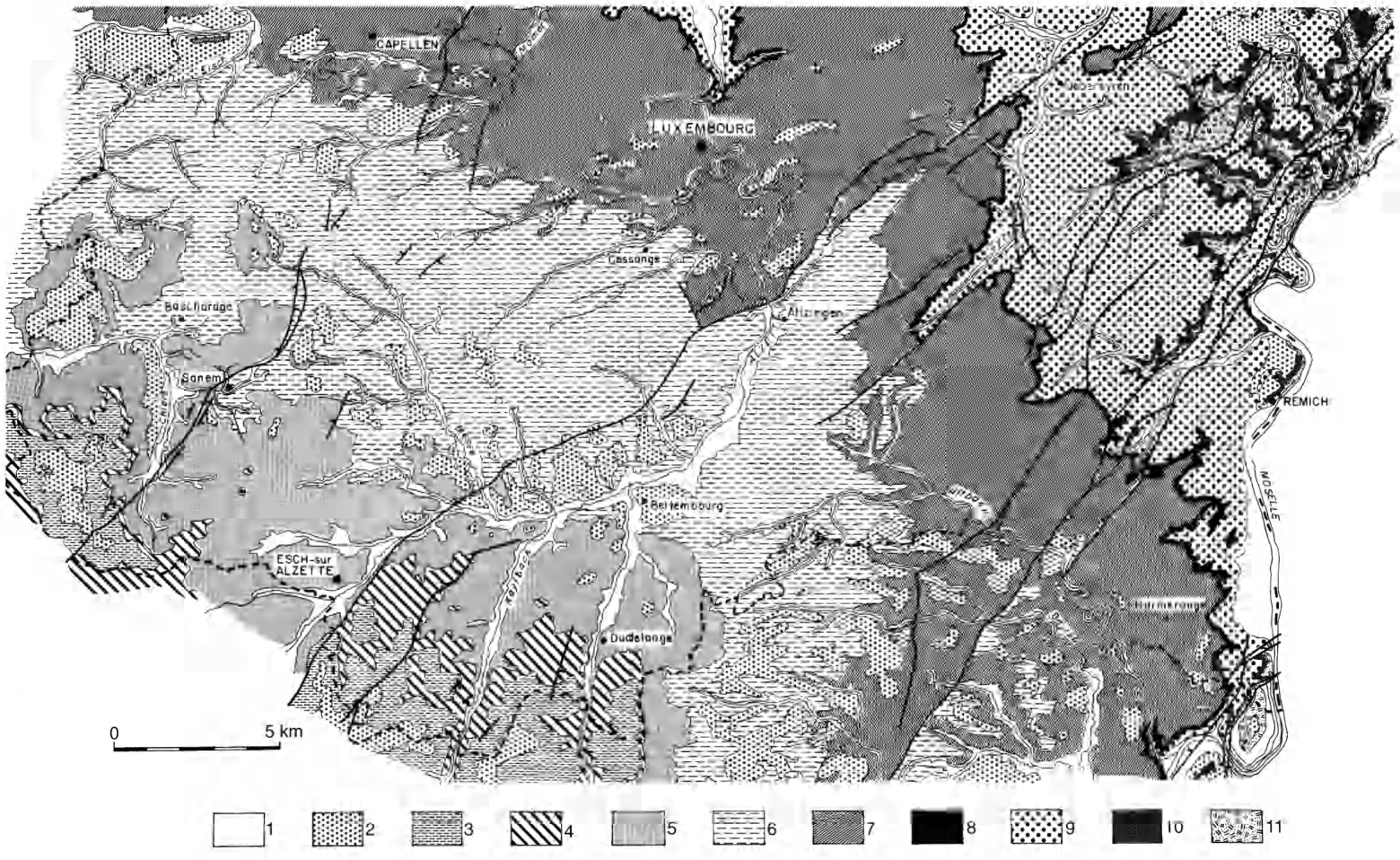


FIG. 1. — Carte géologique du grand-duché du Luxembourg. **1**, Holocène ; **2**, Néogène ; **3**, Bajocien ; **4**, Aalénien ; **5**, Toarcien ; **6**, Pliensbachien ; **7**, Sinémurien ; **8**, Rhétien ; **9**, Keuper gypsifère ; **10**, groupe de la Lettenkohle ; **11**, Muschelkalk.

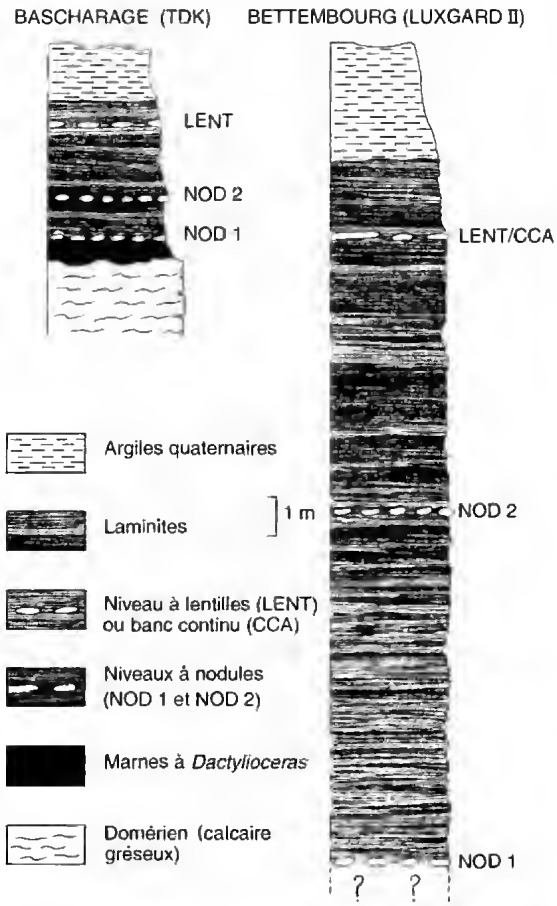


FIG. 2. — Profils lithologiques du Toarcien inférieur à Bascharage (site de TDK) et à Bettembourg (site de Luxgard II).

marnes sont riches en concrétions millimétriques de pyrite mêlées à des nodules calcaires de 1 à 4 cm contenant des macrotestes de céphalopodes (bélemnites et ammonites). La pyrite peut constituer plus de 20 % de la roche.

La faune des marnes comporte de nombreux organismes benthiques (crinoïdes, échinidés, lamellibranches, gastéropodes, vers, crustacés), quelques formes juvéniles de céphalopodes (bélemnites ou ammonites) et des fragments de « poissons » (vertèbres, écailles, dents).

Les nodules calcaires sont composés d'une micrite homogène contenant des débris d'algues chlorophycées associés à des fragments de lamellibranches (posidonies ?) et de gastéropodes. Ils ne présentent aucune structuration particulière et la pyrite y est peu développée. Leur formation semble liée à une concentration de carbonate autour d'un nucléus constitué par un teste de macro-organisme (ammonite, bélemnite).

L'ensemble du dépôt traduit de toute évidence un milieu de vie bien oxygéné favorable au développement d'un épibenthos, *malgré la présence de pyrite qui suggère plutôt un milieu réducteur.*

LE MEMBRE SUPÉRIEUR

Les laminites

Les laminites (= « schistes carton » = « schistes bitumineux » = « schistes à posidonies » de la littérature) représentent une sédimentation particulièrement monotone et ne montrent ni bancs calcaires continus comme à Holtzmaden (Gall 1979) ni horizons phosphatés comme dans le Toarcien inférieur du Centre-Ouest de la France (Gabilly 1976). Formant le corps principal de la série avec une puissance d'environ 5 m, elles sont constituées d'un empilement de séquences inframillimétriques à deux termes : lamine claire et lamine sombre. Le terme clair est composé d'une « poussière » de quartz associée à une faible proportion de calcite diagénétique, le terme sombre de matière organique peu oxydée, mouchetée de pyrite. Cet agencement en feuillets bichromatiques n'est affecté d'aucune trace de bioturbation. Sporadiquement, l'alternance régulière passe à un feutrage organique très dense qui inclut des particules silicoclastiques (quartz, argiles) et des cristaux de calcite diagénétique. L'observation au MEB de ce feutrage organique (Figs 3, 4) fait apparaître un ensemble de structures géométriques déterminant une maille constante et régulière composée de cristaux calcitiques allongés et disposés en croix. Cet agencement correspond à l'ultrastructure des coques de schizosphères qui, décrites pour la première fois par Deflandre & Dangeard (1938), ont ensuite été signalées par de nombreux auteurs dans les séries jurassiques (Cayeux 1939 ; Urbain 1951 ; Deflandre 1959 ; Rioult 1964, 1968 ; Amézieux 1972 ; Noël 1972 ; Aubry & Depêche 1974 ; etc.). Le rôle déterminant de ce nannoplancton dans la genèse de certains calcaires a été souligné par Bernouilli & Renz (1970) et Bernouilli & Jenkins (1970). Dans nos échantillons, seule

l'espèce *Schizosphaerella punctulata* Deflandre *et* Dangeart, 1938 a pu être reconnue (détermination D. Nöel).

Liste faunique :
Arthropoda. Crustacea : rares *Proeryon* sp.
Insecta : aucun.
Mollusca. Ammonoidea : ce sont majoritairement des *Harpoceras falcifer*, associés à des *Dactylioceras* sp., *Tiltoniceras* sp., *Phylloceras* sp. et *Hildoceras* sp. Les *Aptychus* sp. sont rares.
Belemnoidea : nombreux rostres attribuables à plusieurs espèces de bélemnites.
Lamellibranchia : dès coquilles de posidonies (*Posidonia* sp. = *Bositra* sp.) (Lamellibranchia Pteriidae) sont dispersées dans toute l'épaisseur de la série.
Vertebrata. Ils se présentent généralement à l'état fragmentaire.
Actinoptérygiens : *Leptolepis coryphenoides*, *Lepidotes* sp., *Pachycormus* sp.
Ichthyosaures.

Les niveaux à nodules
Deux niveaux à nodules calcaires très riches en posidonies, *Harpoceras* sp. (Hildoceratidae Hyatt, 1867) et *Dactylioceras* sp. (Dactylioceratidae Hyatt, 1867) ont été reconnus (horizons Nod. 1 et Nod. 2 ; Fig. 2). Au sein de ces niveaux, les nodules ne sont pas répartis régulièrement mais concentrés en « nids ». Ils présentent une face inférieure très bombée, la supérieure étant nettement plus plane (Fig. 5). Les deux faces sont souvent tapissées de posidonies dont les valves en connexion montrent que ces lamellibranches ont vécu et sont morts en masse sur place. Tous contiennent un macrofossile animal ou végétal. La plupart recèlent de nombreuses formes juvéniles (et pontes ?) de céphalopodes (ammonites ou nautiles) et la microsparite qui les constitue est généralement surchargée de pyrite. Leur taille est fonction de celle de l'organisme inclus, elle varie de 5 cm à plus de 2 m. À titre d'exemple, un nodule long de 1,8 m recèle le squelette complet d'un ichthyosaure, un autre de 2,3 m englobe un tronc d'arbre. Également très variable, leur forme respecte la morphologie du fossile qu'ils contiennent. Ce dernier peut se prolonger latéralement à l'extérieur du nodule, dans le plan de stratification. Les restes complets en connexion de certains ichthyosaures sont ainsi emballés dans plusieurs nodules, à la manière des grains d'un chapelet.

FIG. 3. — Réseau de *Schizosphaerella punctulata* Deflandre *et* Dangeart, 1938 (schizosphère). Échelle : 1 000 µm.

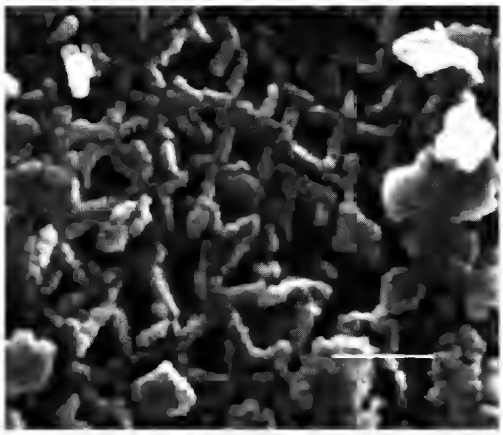


FIG. 4. — Détail du test de *Schizosphaerella punctulata* : réseau quadrangulaire de cristaux calcitiques disposés en croix (laminites au contact avec les lentilles, Bascharage). Échelle : 100 µm.

Liste faunique et floristique :
Plantae. Branches et troncs d'arbres en bon état de conservation (rares *Otozamites* sp. et rameaux de conifères, *Thyon* sp.).
Arthropoda. Insecta : absents.

FIG. 5. — Coupe dans un nodule (Bascharage). Le noyau est un fragment de branche dont l'écorce est dilacérée. L'auréole plus sombre correspond à un développement de pyrite. Échelle : 1 cm.

Mollusca. Ammonoidea : *Harpoceras* sp. (grands spécimens). Nombreuses formes juvéniles (premiers stades) d'ammonites ou de nautiles associées à des adultes.

Nautiloidea : quelques individus isolés dont la coquille est remplie du même sédiment que celui qui constitue les nodules.

Belemnoidea et Theutoidea : de grands individus

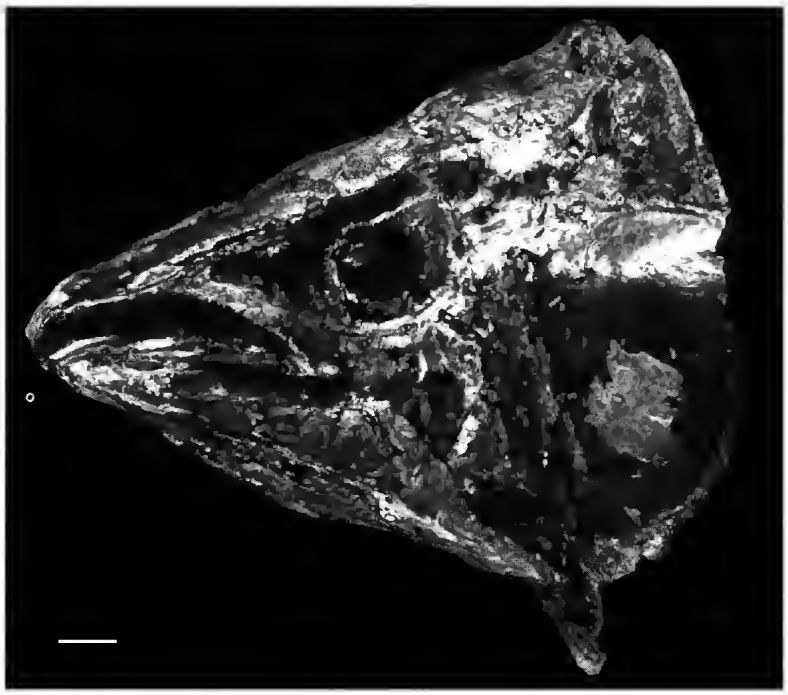


FIG. 6. — *Pachycormus* sp., nodule, Bascharage. Échelle : 1 cm.

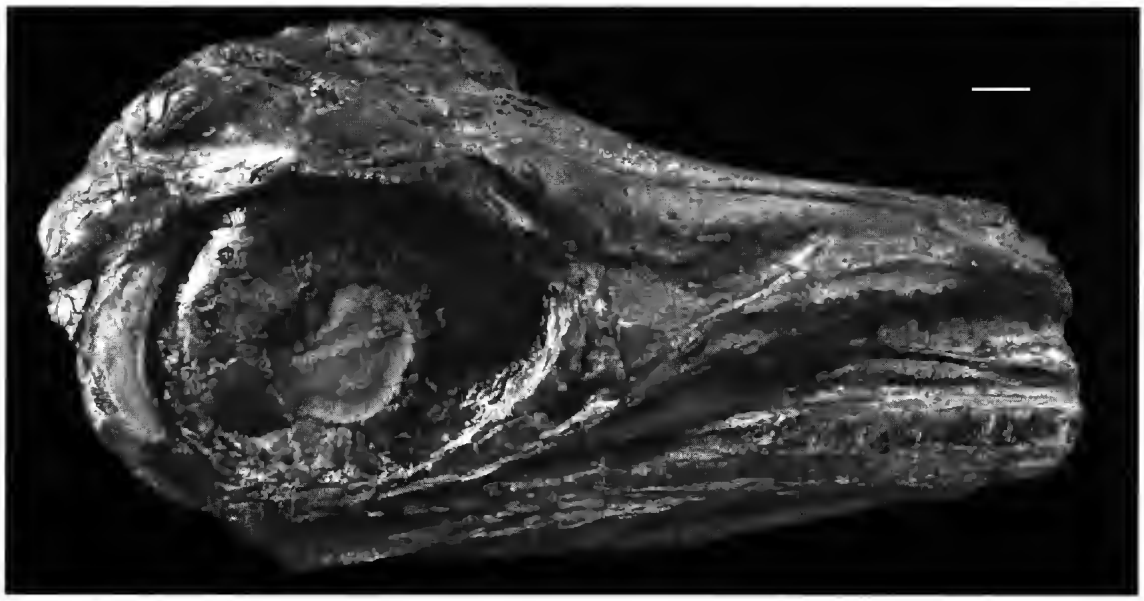


FIG. 7. — Ichthyosaure, crâne d'un individu juvénile. Nodule, Bascharage. Échelle : 1 cm.

avec poche à encre préservée [*Geopeltis* Van Regteren, 1949 (= *Geotheutis* Naef, 1921) sp. ou *Teudopsis* Deslongchamps, 1835 (= *Belotheutis* Münster, 1843) sp.].

Vertebrata. La faune de vertébrés est plus abondante et mieux conservée que celle récoltée dans l'épaisseur des laminites.

Actinoptérygiens : *Lepidotes elvensis* Blainville, *Pachycormus* sp. Agassiz, 1833 (Fig. 6), *Caturus* sp. Agassiz, 1834 (spécimens complets ou gros fragments).

Nombreux jeunes spécimens d'ichthyosaures (Fig. 7), un crocodilien, un fragment possible de ptérosaurien indéterminé.

Le dépôt latéral aux nodules

Latéralement, les nodules passent à un sédiment très finement laminé, agencé en doublets de feuillets inframillimétriques clairs/sombres. Leur composition [lamines claires = quartz + calcite ; lamines sombres = matière organique + pyrite] est identique à celle des laminites qui constituent la masse de la série.

Liste faunique :

Dans l'ensemble, la faune est très proche mais nettement moins bien conservée que celle contenue dans les nodules : nombreux *Harpoceras* sp. et débris organiques divers d'origine marine (individus en connexion et fragments de taxa également présents dans les nodules).

Le niveau à lentilles

Les lentilles ont une forme grossièrement ellipsoïdale très aplatie (Figs 8, 9). Leur longueur varie de 30 cm à 1 m, leur épaisseur de 6 à 10 cm. Les faces supérieures et inférieures sont peu convexes, parfois planes. Elles sont constituées d'une microsparite laminée. À la cassure, les lentilles présentent une teinte verdâtre-grisâtre ou noirâtre. Les premières recèlent des fossiles très pyritisés et extrêmement bien conservés, les autres sont nettement moins riches en pyrite. En règle générale, la pyrite est très développée au cœur de la lentille et disparaît progressivement vers les bordures supérieure et inférieure, au profit du développement tout aussi progressif d'un feutrage organo-minéral qui atteint sa densité maximale au passage avec les laminites encaissantes.

Plans parallèles dans la partie médiane de la lentille, les feuillets qui la constituent épousent brutalement sa forme extérieure en passant latéralement à une laminite avec une compaction

FIG. 8. — Lentille à l'affleurement, interstratifiée dans les laminites (h: 9 cm ; L: 70 cm).

différentielle d'ordre 4. Hanzo (1978) admet ce même taux de compaction pour les marnes de Bettembourg.

Liste faunique et floristique :

La faune est proche dans les trois types de lentilles, bien que plus riche en crustacés et insectes

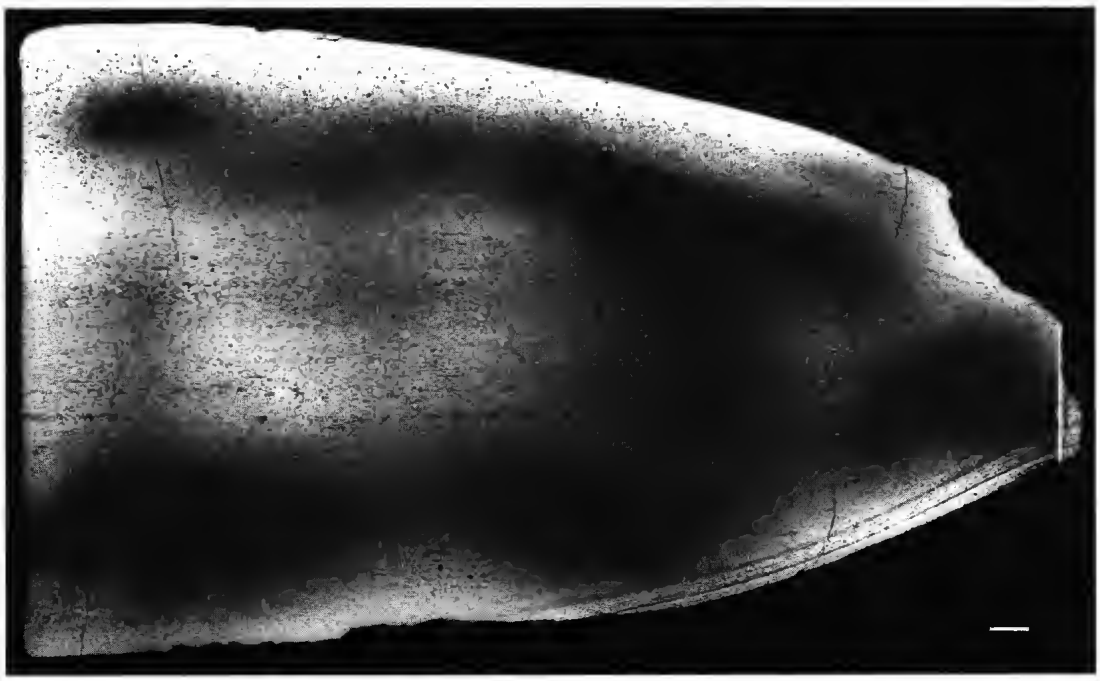


FIG. 9. — Lentille isolée. Noter le comportement des lamines qui s'infléchissent pour passer latéralement aux laminites. Échelle : 1 cm.

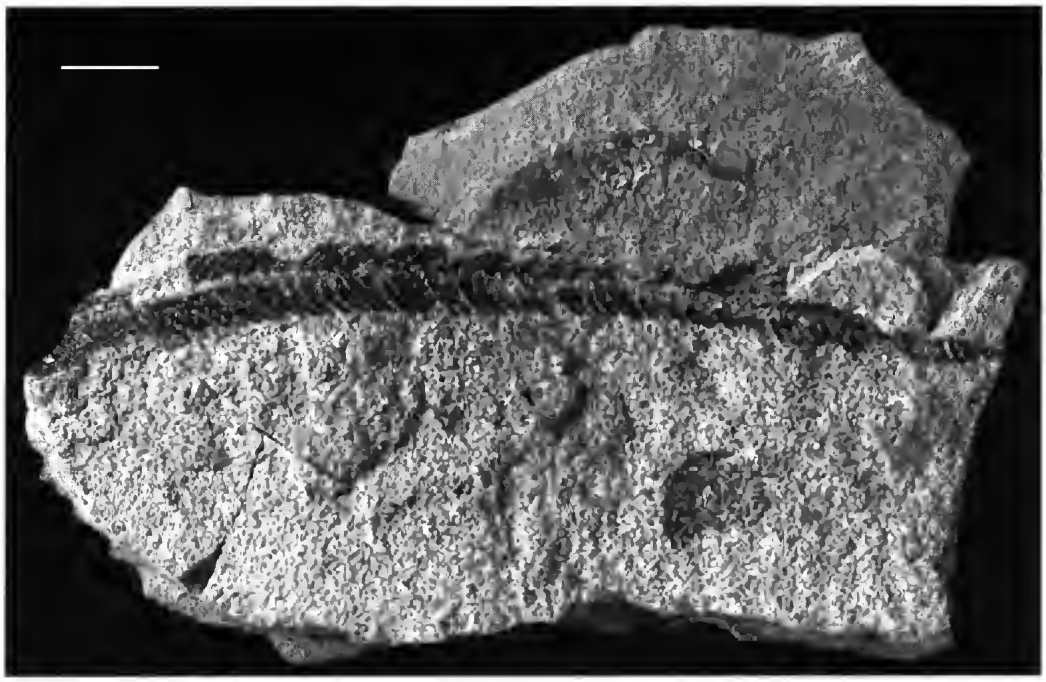


FIG. 10. — *Otozamites* sp. avec crustacé, CCA (équivalent latéral de la couche à lentille), Bettembourg. Échelle : 1 cm.

dans les vertes. Elle est, par contre, totalement différente de celle des niveaux à nodules et, dans tous les cas, plus riche que celle des laminites.

Plantae. Très rares *Zamites* sp. ou *Otozamites* sp. (Fig. 10), *Equisetum* sp.

Arthropoda. Crustacea : *Proeryon* sp., « crevettes » voisines du genre *Atrimops* (Fig. 10). Insecta : très nombreux, ils appartiennent à dix ordres différents (Phasmatodea, Odonata, Paraplecoptera, Coleoptera, Psocoptera, Mecoptera, Trichoptera, Neuroptera, Hymenoptera, Diptera). L'inventaire non exhaustif des espèces dépasse actuellement deux cents taxa, pour la plupart inédits, sauf les Odonata (Nel *et al.* 1993) (Fig. 15). C'est de loin le groupe le plus diversifié. La densité moyenne en insectes est beaucoup plus importante dans les lentilles vertes (cinquante à soixante individus par 10 dm^3) que dans les grises (deux ou trois individus par 10 dm^3). Des dessins et certaines pigmentations d'ailes d'insectes sont préservés.

Cephalopoda. Ammonoidea : très rares *Aptychus* sp. ; rares *Tiltoniceras* sp. ou *Phylloceras* sp. ; très peu d'adultes, aucune forme juvénile. Belemnoidea ou Theutoidea : très rares et petits spécimens, un individu plus grand avec poche à encre conservée.

Vertebrata. Actinoptérygiens : *Leptolepis coryphaenoides* Bronn (Leprolepidae) (Fig. 11), *Tetragonolepis* sp. Bronn, 1830 (Fig. 12), *Pholidophorus* sp. Agassiz, 1832 (Fig. 13), *Dapedius* sp. Leach, 1822 (Dapediidae) (Fig. 14), *Euthynotus* sp. Wagner, 1860.

Un crocodilien (quatre spécimens fragmentaires) ; des restes d'ichthyosaures (deux vertèbres).

Le dépôt latéral aux lentilles

Les lentilles passent latéralement à une alternance de lamines claires (quartz + calcite) et sombres (matière organique + pyrite) inframillimétriques, identique à celle des laminites et du niveau à nodules. Ce faciès évolue parfois en un feutrage organo-minéral très dense et toujours laminé qui inclut de fins débris de quartz et des cristaux de calcite. Ce sédiment présente donc une composition et une structuration sensiblement différentes de celles des lentilles.

FIG. 11. — *Leptolepis coryphaenoides* sp., lentille, Bascharage. Échelle : 1 cm.

Liste faunique et floristique :

Plantae. Rare, toujours fragmentaire et difficilement déterminable, la flore est surtout représentée par du bois fossile de gymnosperme (jayet).

Arthropoda. Crustacea : très rares fragments de *Proeryon* sp. et des fossiles indéterminables rappelant des crevettes.

Insecta : aucun.

Mollusca. Ammonoidea : *Harpoceras falciferum* (jeunes et adultes) ; rares *Phylloceras* sp., *Dactylioceras* sp. et *Tiltoniceras* sp.

Belemnoidea et Theutoidea : rares spécimens indéterminables avec poche à encre associée.

Lamellibranchia : quelques posidonies concentrées par place ou écrasées au toit des lentilles.

Vertebrata. Actinoptérygiens : *Leptolepis coryphaenoides* (individus très souvent incomplets ou débris isolés), *Tetragonolepis* sp. (deux individus entiers), *Pachycormus* sp. (de très rares écailles).

Quelques vertèbres isolées d'ichthyosaures.

Discussion

Les faunes et flores des faciès à lentilles et à nodules sont nettement distinctes (tableaux 3, 4, 5, 6 en annexe) et reflètent des milieux et des processus taphonomiques très contrastés. Les espèces communes à ces deux paléoenvironnements de dépôt sont rares : *Pachycormus* sp., ichthyosaure, *Harpoceras* sp. (jeunes individus dans les lentilles, adultes et pontes dans les nodules) et *Tiltanoceras* sp.

L'entomofaune, abondante et très variée dans les lentilles, est en revanche absente dans les laminites et les nodules. Il ne peut s'agir d'un problème d'échantillonnage, car les collectes ont été soigneuses et abondantes. Cette absence ne peut pas non plus être liée à un problème de conservation, car la cuticule des insectes est réputée plus résistante aux processus de dégradation que les empreintes des parties molles des céphalopodes Theutoidea trouvés dans les nodules (Allison 1988).

Cette entomofaune est constituée pour plus de 50 % d'insectes complets, au corps en connexion et en très bon état de conservation, ce qui suggère un enfouissement sur ou à proximité du lieu de leur mort. Tous, ou presque, sont des adultes volateurs ou, pour quelques-uns, aquatiques d'eau douce comme les Gyrinidae (Nel 1989). Les formes larvaires sont douteuses et très peu nombreuses. Si ces insectes ne se sont pas développés et n'ont pas vécu sur les lieux de leur enfouissement, ils sont par contre susceptibles d'avoir été transportés par des courants aériens ou par des cours d'eau (pour les formes aquatiques largement minoritaires).

Les milieux de dépôt et de fossilisation des nodules et des lentilles sont donc distincts. Les premiers recèlent une faune exclusivement marine exempte de tout élément terrestre ou estuarien, excepté des débris ligneux ; les secondes livrent une faune et une flore terrestres associées à des éléments fluvio-estuariens et marins.

Il est donc raisonnable de penser que le sédiment constituant les lentilles s'est déposé dans un environnement nettement plus proche de terres émergées que les autres composantes de la série, cette proximité permettant des apports fauniques continentaux importants et variés.

FIG. 12. — *Tetragonolepis* sp., lentille, Bascharage. Échelle : 1 cm.

LA SÉRIE DE BETTEMBOURG-KAYL
(le site « Luxgard II »)

Les conditions d'affleurement n'ont pas permis d'observer la base de la série toarcienne qui, à Bettembourg, est fortement dilatée (18 m). Cependant, les niveaux à nodules et à lentilles sont parfaitement corrélables (Fig. 2). Les lentilles contiennent une forte proportion de matière organique non oxydée et de pyrite. Elles peuvent passer latéralement à un banc calcaire continu (CCA) très riche en formes juvéniles de *Leptolepis coryphaenoides* et en crustacés (*Atrimops* sp.), associés à de nombreuses formes juvéniles de céphalopodes (ammonites ou nautiles) et à des lamellibranches non déterminables. Les mortalités massives peuvent être mises en relation avec les conditions d'anoxie qui régnaient sur le fond ou dans l'épaisseur de la tranche d'eau au moment des éclosions. Le banc continu (CCA) a été également observé à Sanem (2 km de Bascharage), Dudelange (4 km de Bettembourg), Esch-sur-Alzette et Pétange (1 km de Bascha-rage). Nous y avons récolté des ammonites (*Harpoceras*, *Tiltoniceras*), de rares fragments de *Leptolepis coryphaenoides* et du bois, mais aucun insecte.

Si le niveau à lentilles reconnu à Bettembourg est lithologiquement proche de celui de Bascharage, il en diffère cependant sensiblement dans sa composition faunique par l'absence totale des insectes. Ceci pose problème, sachant que Delsate *et al.* (1992) signalent la présence d'un Odonata Heterophlebioidea ou Anisoptera et d'ailes de Blattodea, récoltés dans des « éléments lenticulaires » d'âge Toarcien inférieur (« schistes de Grandcourt » = « schistes carton ») d'Aubange (Lorraine belge). Les auteurs situent cet horizon à l'extrême base de la série, au contact des marnes bleu-gris de la zone à *Dactylioceras semicelatum* et *Dactylioceras tenuicostatum*, mais n'en fournissent aucune description faciologique. Il nous est donc impossible de considérer cet horizon comme un équivalent de notre niveau à lentilles.

Les structures internes des nodules et des lentilles sont respectivement identiques à celles de Bascharage, mais les nodules de Bettembourg contiennent une plus forte proportion de pyrite.

La faune des nodules de Bettembourg-Kayl est analogue à celle des nodules de Bascharage :

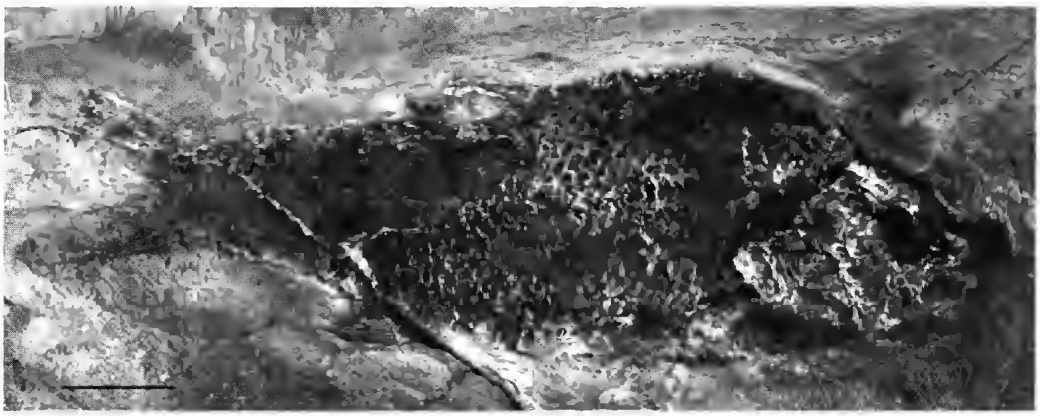


FIG. 13. — *Pholidophorus* sp., lentilles Bascharage. Échelle : 1 cm.

Harpoceras et *Tiltoniceras* de grande taille associés à des pontes (?) de céphalopodes, actinoptérygiens et ichthyosaures d'une taille sensiblement plus importante qu'à Bascharage et débris ligneux. Par contre, la faune des lentilles (ou du banc continu : CCA) diffère de celle récoltée à Bascharage (Tableau 1) par l'absence totale d'entomofaune et d'importantes variations dans les proportions des groupes d'organismes marins. Dans les deux gisements (Bascharage et Bettembourg), la faune marine est très peu diversifiée puisqu'aucun reste fossile des nombreux groupes plus ou moins bien représentés par ailleurs, dans les mers liasiques européennes (échinodermes, brachiopodes, spongiaires, coraux, etc.), n'est présent. Les paléoenvironnements de dépôt devaient donc être très littoraux, du moins au moment de la formation du niveau à lentilles, mais aucun des taxons habituellement inféodés au domaine marin littoral n'a été reconnu. Ils

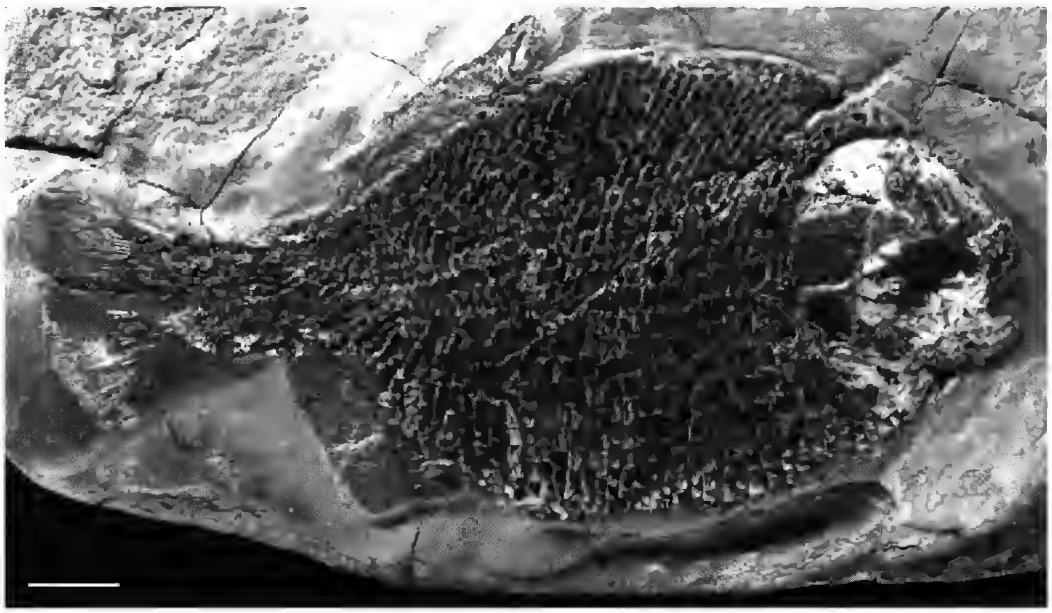


FIG. 14. — *Dapedius* sp., lentille, Bettembourg. Échelle : 1 cm.

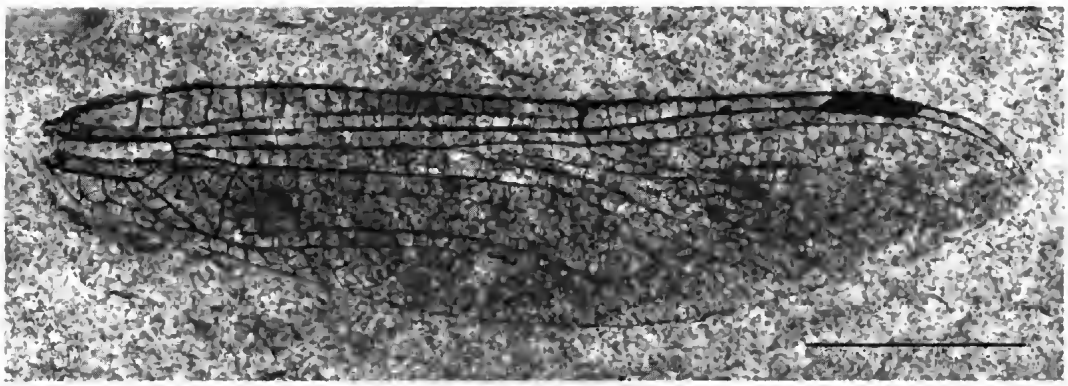


FIG. 15. — Odonata Liassogomphidae *Phthitogomphus angulatus* (Handlirsch, 1939). Aile antérieure. Lentille, Bascharage. Échelle : 1 cm.

correspondraient plutôt à un fond de vase pauvre en vie, déficitaire en oxygène et sporadiquement favorable au développement de formes opportunistes comme les posidonies qui, selon Kauffman (1978), s'accommodaient de fonds modérément oxygénés.

GENÈSE DES DIFFÉRENTES FORMATIONS

LES LAMINITES

En Europe occidentale, le Toarcien inférieur est caractérisé par le dépôt de sédiments laminés qualifiés par les auteurs de « schistes carton », « schistes bitumineux » ou « schistes à posidonies ». Cette lamination est classiquement attribuée à la prolifération répétée de mattes microbiennes, en contexte anoxique, au contact du fond des étendues d'eau. Les microorganismes filamenteux (cyanobactéries, actinomycètes, bactéries sulfo-réductrices, etc.) sont à l'origine d'un feutrage qui piège les particules détritiques, contrarie l'installation du benthos et inhibe les processus de décomposition de la matière organique (O'Brien 1990).

Pour leur part, Busson & Noël (1972) signalent le rôle prépondérant des tests d'organismes nannoplanctoniques dans la genèse des laminites à couple [calcaire/matière organique ou argileuse], dont des schizosphères dominantes, dans les « schistes carton » du Toarcien inférieur de Fécocourt (Est du Bassin de Paris, France). Ils considèrent qu'il s'agit de sédiments planctoniques, déposés et préservés sur un fond anoxique.

La mer toarcienne correspondait donc à un milieu favorable à la fois à l'épanouissement d'un plancton à schizosphères dont les tests alimentaient, saisonnièrement ou de façon permanente, un dépôt finement laminé, en milieu anaérobie (aucune trace de bioturbation). Cet environnement était sporadiquement propice au développement de tapis microbiens qui se développaient à la faveur de phases de confinement. Les différents faciès que nous avons étudiés suggèrent l'image d'une mer vraisemblablement peu profonde (fond de golfe, par exemple), sensible aux fluctuations eustatiques, qui s'étendait à proximité d'un continent ou d'une île au paysage très mature alimentant le bassin en matériel détritique très fin (quartz et argiles).

LES NODULES DE LA PARTIE INFÉRIEURE DE LA SÉRIE DE BASCHARAGE

(marnes bleues à *Dactylioceras* ; Fig. 2, Nod. 1)

Des travaux effectués sur l'échangeur de Bettembourg (autoroute Luxembourg-Thionville) ont permis à Hanzo (1978) d'observer une partie du Toarcien le plus inférieur. L'auteur y décrit des nodules carbonatés appartenant à la zone à *Dactylioceras tenuicostatum* qui correspond aux marnes bleues de la base de la série de Bascharage. Dans ce niveau, Hanzo ne signale que quelques débris osseux, de petites ammonites et des ostracodes. Les descriptions

fournies par l'auteur pourraient laisser penser que ces nodules sont l'équivalent des lentilles que nous étudions. Cependant, une différence essentielle, autre que la composition faunique et floristique, apparaît : la structuration de ces nodules correspond exactement à celle des marnes qui les encaissent (= « schistes carton » *sensu* Hanzo). Sur ce site, Hanzo signale un autre niveau plus inférieur, à nodules également calcaires, contenant des actynoptérygiens. Il est évident qu'aucun des niveaux décrits par cet auteur n'est l'équivalent des niveaux à nodules (Nod. 1 et Nod. 2) à macrorestes de grands vertébrés marins de Bascharage et de Bettembourg-Kayl car, fondamentalement, la faune qu'ils contiennent ne diffère pas de celle des marnes latérales.

La genèse des nodules décrits par Hanzo résulte de processus strictement diagénétiques et « n'est pas liée à une zone riche en organismes qui constitueraient leur germe » au même titre que les nodules des marnes bleues de la série inférieure de Bascharage. Celle des nodules et des lentilles de la série supérieure de Bascharage est différente.

Les nodules de la partie supérieure des séries de Bascharage et de Bettembourg (Fig. 2, Nod. 2)

Leur genèse diffère de celle d'autres nodules décrits dans les formations toarciennes, notamment ceux de la carrière de l'Échelle près de Hirson (France), interprétés par Bontes (1941) comme le résultat d'encroûtements successifs par roulement des nodules en cours de formation. Prager & Ginsburg (1989) signalent des nodules carbonatés actuels en Floride dont la formation, proche de celle des nodules de l'Échelle, serait due au remaniement de galets mous. De par leur mode de formation, ces nodules sont très irréguliers, ce qui les différencie de ceux de Bascharage et de Bettembourg.

D'autre part, la formation des nodules de Bascharage et de Bettembourg coïncide avec un changement des conditions du milieu de sédimentation caractérisé par un développement remarquable de posidonies qui sont plutôt rares dans le reste de l'épaisseur de la série.

L'abondance des coquilles de posidonies dans les mers toarciennes a suscité de nombreuses controverses. La pénurie en oxygène libre dans la nappe d'eau profonde exclut un mode de vie benthique, mais la grande taille atteinte par certaines espèces ne permet pas d'envisager une vie pélagique. Des mœurs pseudoplanctoniques comme celles des *Inoceramus* des mêmes gisements impliquent un recouvrement des aires de distribution des lamellibranches et des objets flotrants. Or une telle situation n'a pas pu être établie avec certitude. Oschman (1994) envisage l'adaptation des posidonies à des eaux à faible teneur en oxygène, grâce à une hétérochronie du développement. La maturité sexuelle des animaux est acquise précocement durant leur stade larvaire pélagique : c'est le phénomène de progenèse. La pérennité des catactères larvaites, en particulier la petite taille des individus et la minceur de la coquille, est éminemment favorable à la flottaison des lamellibranches près de la surface de l'eau. Une telle interprétation s'appliquerait plus particulièrement à la sous-espèce *Bositra radiata parva*.

L'absence de toute trace de bioturbation, la préservation des parties molles de nombreux fossiles (actinoptérygiens, ichthyosaures, bélemnites, etc.) et le développement de pyrite impliquent des conditions anoxiques qui, développées au contact du fond de la nappe d'eau, favorisent à la fois la conservation de la matière organique et l'épanouissement de communautés bactériennes anaérobies. Des bactéries sulfo-réductrices libèrent de l'H_2S qui se combine au fer pour donner les concrétions de pyrite. Un tel métabolisme provoque une augmentation de l'alcalinité du milieu et favorise, localement, la précipitation de calcaire autour des cadavres, initiant ainsi la nodulisation. La formation des couches à nodules correspondrait de ce fait à un événement diagénétique précoce qui expliquerait l'excellent état de conservation des fossiles. En outre, l'ambiance carbonatée fait obstacle à la dissolution des coquilles calcaires.

Comme pour d'autres organismes (ammonites, actinoptérygiens, etc.), la mort en masse des posidonies et leur préservation *in situ* (valves en connexion), témoignent d'événements catastrophiques ponctuels. Ces mortalités massives ne se limitent pas aux niveaux à nodules, mais interviennent à plusieurs reprises au cours du dépôt des laminites. Elles ont été diversement interprétées. Pour Seilacher (1990), les animaux vivant à

proximité du fond périraient périodiquement lors de fortes tempêtes qui, en brassant les sédiments accumulés sur le fond de la mer, provoqueraient la libération massive de l'H_2S et l'intoxication de la faune. Si la tranche d'eau est faible, cet empoisonnement affecterait l'ensemble des populations nectoniques et pseudoplanctoniques.

LE NIVEAU À LENTILLES

Ce niveau correspond à un changement brutal de la faune et à la disparition du nannoplancton à schizosphères. Comme pour les nodules, la précipitation des carbonates, accompagnée par le développement de pyrite, suppose une modification du chimisme des eaux qui s'est répercutée sur la nature des associations bactériennes. En revanche, le cachet délibérément continental du contenu paléontologique (végétaux, insectes, crocodiles) des lentilles de Bascharage implique la proximité de terres émergées. Les lentilles calcaires traduisent peut-être de brefs épisodes régressifs au cours de la phase transgressive du Toarcien inférieur. De tels événements provoquent la réduction de la tranche d'eau et entravent les communications avec la haute mer et la pénétration du necton marin (ammonites, bélemnites). Conjointement, apparaît une multitude de collections d'eaux plus ou moins stagnantes dont la surface se couvre de voiles microbiens. Ceux-ci peuvent se réduire à un mince biofilm à peine décelable ou, au contraire, former de véritables tapis (Baudoin 1957). Par l'enchevêtrement de formes microbiennes filamenteuses (bactéries, champignons, etc.) et une intense production de mucilage (Gall 1995), ils constituent des pièges pour des organismes de petite taille, en particulier pour les insectes. De temps en temps, les voiles microbiens se rompent et se fragmentent. En sombrant, ils entraînent les organismes piégés au contact du fond où ils seront recouverts par le sédiment. Les conditions anoxiques qui règnent dans ce dernier et la prolifération probable de mattes microbiennes benthiques favorisent la fossilisation des parties molles des mollusques et des vertébrés, ainsi que la préservation de la pigmentation de certains insectes.

Les différences importantes de composition faunique entre les lentilles de Bascharage et les « lentilles + banc continu » de Bettembourg, roches de nature lithologique pourtant identique, évoquent des milieux de dépôt très proches mais différemment alimentés en organismes (Tableau 1). La prépondérance des organismes d'origine terrestre à Bascharage et des organismes marins à Bettembourg s'explique aisément par une distalité plus importante à Bettembourg qu'à Bascharage, ce qui n'implique pas nécessairement une plus grande bathymétrie.

TABLEAU 1. — Comparaison des lentilles de Bascharage et de Bettembourg-Kayl.

	Bascharage	Bettembourg
Dimensions	≤ 1 m	> 2 m
Texture	grain très fin	grain plus grossier
Insectes	très abondants	absents
Leptolepis coryphaenoides	nb. adultes, pas d'alevins	nb. alevins, peu d'adultes
Plantes	très rares	abondantes
Ammonoidea adultes	très rares	abondants
Ammonoidea jeunes	rares	abondants
Aptychus sp.	très rares	très nb., isolés ou en place
Posidonies	très rares (au toit)	abondantes

L'hypothèse la plus vraisemblable pour expliquer la formation des lentilles est que le milieu ait atteint l'émersion. Le sédiment qui les constitue correspondrait à un templissage de « flaques » d'eau saumâtre, alimentées à la fois en organismes terrestres venant d'un rivage très proche, et en organismes marins entraînés régulièrement par les marées. Le remplissage de ces dépressions a dû être très rapide, et la remise en eau du milieu, générant un nouveau dépôt de laminites à schizosphères, a protégé l'ensemble de l'action de l'oxygène. Dans cette hypothèse, ces milieux représentent des systèmes géochimiquement favorables à la fossilisation des organismes et au développement de pyrite.

Les dépôts équivalents de Bettembourg se sont probablement formés dans des conditions analogues, mais les apports fauniques, essentiellement marins, impliquent une plus grande distance par rapport au rivage.

Nous obtenons donc l'image de milieux aquatiques restreints (fond de golfe, lagunes, etc.), d'extensions variables, mais toujours peu profonds. Ces réceptacles se remplissent rapidement de sédiments et piègent des animaux terrestres et marins à Bascharage, strictement marins à Bettembourg. Le matériel carbonaté des lentilles résulte d'une diagénèse spécifique, étroitement conditionnée par une importante concentration de matière organique qui génère localement des conditions interstitielles favorables au développement de carbonate. De ce fait, la morphologie actuelle des lentilles résulte d'une compaction différentielle.

Comparaison des différents types de lentilles

À Bascharage, les lentilles observées sur les affleurements des sites de Luxgard 1 et TDK sont de trois types (Tableau 2a) répartis sur trois zones distinctes :

– type I : lentilles « grises », pauvres en insectes (1 ou 2 spécimens/lentille), crustacés (*Proeryon*) très rares, theutoïdes (1 spécimen/40 lentilles pour un échantillonnage de plus de 1000 lentilles) ;

– type II : lentilles « vertes », riches en pyrite, en matière organique et en insectes (10 à 15 spécimens/lentille), crustacés (*Proeryon*) rares (1 ou 2 spécimens/lentille) ;

– type III : lentilles « noires », riches en silice, très pauvres en insectes (1 spécimen/10 lentilles), crustacés (*Proeryon*) très rares.

Tableau 2a. — Comparaison des contenus paléontologiques des trois types de lentilles.

	Bettembourg	Bascharage type I	type II	type III
Theutoïdes	abondants	présents	très rares	très rares
Crustacés	abondants	très rares	présents	très rares
Isopodes	absents	absents	absents	présents
Plantes	présentes	très rares	très rares	très rares
Insectes	absents	présents	abondants	présents

Méthode de parcimonie de Wagner avec scénario minimal, par analyse directe des faunes

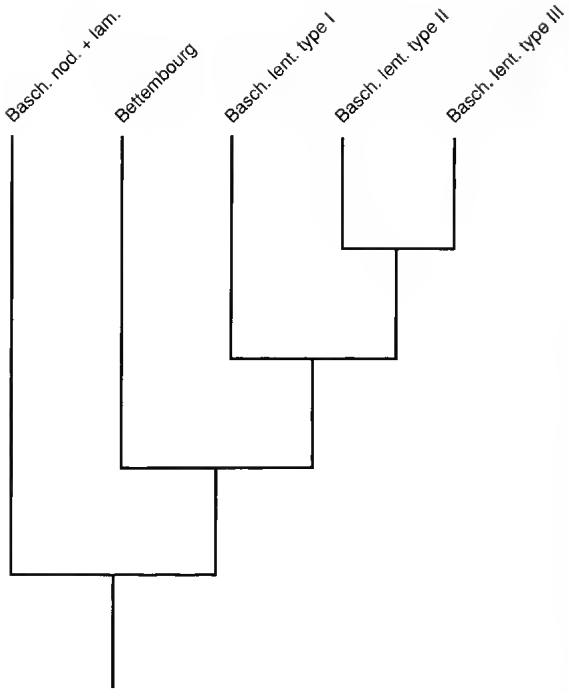
L'utilisation de la méthode de parcimonie de Wagner permet une première comparaison des trois types de lentilles de Bascharage et du niveau à lentilles de Bettembourg avec les niveaux à nodules et laminites de Bascharage. Ce type d'étude a déjà été mis en œuvre dans des analyses synécologiques sur les formes actuelles (Lambshead & Paterson 1986 ; Bellan-Santini *et al.* 1994). L'aspect théorique de la méthode est exposé *in* Masselot *et al.* (1997). Brièvement, cette méthode revient à transférer la parcimonie de Wagner, telle qu'elle est utilisée en analyse phylogénétique des organismes actuels et fossiles, en considérant les divers niveaux comme autant de taxons et les organismes fossiles comme des caractères dont les états sont définis par leur absence ou leur présence (et éventuellement leur abondance).

Nous avons défini quatorze caractères (voir liste des caractères et Tableau 8) pour cinq « taxons ». Le groupe externe servant à la polarisation des caractères est [Bascharage niveau à nodules + niveau à laminites] pour lequel l'origine marine de la faune ne fait pas de doute. La matrice obtenue est analysée au moyen du logiciel Paup 3.1.1. sur Macintosh. Trois options pour le traitement des caractères ont été comparées :

1. Tous les caractères sont non ordonnés (option « *unordered* » de Paup 3.1.1.) ; deux arbres de même longueur minimale sont obtenus (arbres 1 et 2, Longueur = 18 pas ; Indice de Cohérence CI = 1 ; Indice de Rétention RI = 1 ; RC (ou « *Rescaled Consistency Index* ») = CI × RI : 1). Ces indices, qui mesurent la quantité d'homoplasies (Darlu & Tassy 1993), montrent que les caractères choisis sont totalement congruents entre eux. Leur arbre de consensus est non résolu quant aux positions relatives des trois types de lentilles de Bascharage, mais ils donnent [Bettembourg] comme groupe-frère des [Basch lent.].

2. Les caractères 1, 2, 3 et 4 sont ordonnés (option « *ordered* » de Paup 3.1.1.).

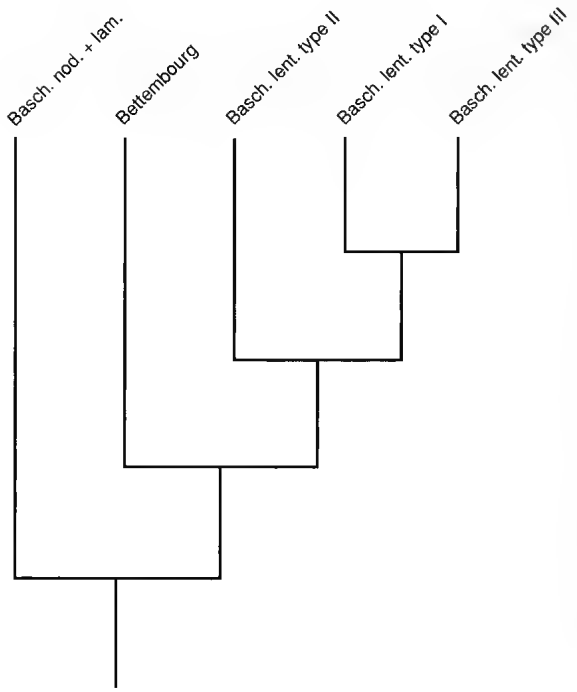
3. Les caractères 1, 2, 3 et 4 sont irréversibles (option « *irreversible up* » de Paup 3.1.1.). Dans ces deux dernières options, on obtient un seul arbre minimal (arbre 1, Longueur = 19 pas ; CI = 0,947 ; CI excluant les caractères non informatifs = 0,923 ; RI = 0,923 ; RC = CI × RI : 0,874). Ces indices sont encore élevés et montrent que les informations livrées par les



divers organismes sont congruentes. Cet arbre minimal résoud la trichotomie entre les trois types de lentilles. Il est congruent avec le scénario sur le gradient de distalité suivant : du plus distal au plus proximal (Tableau 2b) :

[Bascharage nodules + laminites] –> [lentilles de Bettembourg] –>
[Bascharage type I] –> [Bascharage type II] –>
[Bascharage type III].

Cette analyse confirme bien les affinités entre les niveaux à lentilles de Bettembourg et ceux de Bascharage. Les trois options sont de plus congruentes avec l'hyporhèse de l'existence d'un gradient de distalité [Bascharage nodules + laminites] –> [Bettembourg lentilles] –> [Bascharage lentilles], du plus distal au moins distal. En revanche, l'option supposant le moins d'a priori possibles (tous les caractères non ordonnés) ne permet pas de conclure quant à la position de [Bascharage lentilles de type III] relativement à [Bascharage lentilles de type I] et [Bascharage lentilles de type II].



Comparaison fondée sur l'estimation des conditions de fossilisation

Une approche complémentaire, mais plus spéculative, peut être tentée. Elle est fondée sur l'introduction d'hypothèses supplémentaires sur les conditions de fossilisation des divers niveaux étudiés.

Les lentilles de Bettembourg livrent des theutoïdes, et des crustacés en abondance, mais aucun insecte (Tableau 2a). Les insectes des lentilles de Bascharage sont probablement allochtones, car leur grande diversité n'a pas d'équivalent actuel dans ce type de milieu littoral. Leur apport est aérien et fluviatile et peut être considéré comme uniforme. Par conséquent, leur rareté nettement plus grande dans le type I et le type III comparée à celles de type II n'est pas, a priori, liée à une différence de paléomilieu mais à des conditions de fossilisation plus favorables pour les lentilles de type II que pour celles de type I et de type III.

Cette hypothèse est cohérente avec la présence de crustacés dans les lentilles de type III et avec

TABLEAU 2b. — Interprétation des paléomilieux de dépôt des lentilles après correction des données taphonomiques.

	Bettembourg	Bascharage type I	Bascharage type II	Bascharage type III
Theutoïdes	abondants	présents	très rares	présents ?
Crustacés	abondants	présents ?	présents	présents ?
Isopodes	absents ?	absents ?	très rares ?	présents
Plantes	présentes	très rares	très rares	très rares
Insectes	absents ?	abondants	abondants	abondants

TABLEAU 2c. — Interprétation des paléoenvironnements de dépôt des lentilles tenant compte de l'éloignement au rivage.

	Bettembourg	Bascharage type I	Bascharage type II	Bascharage type III
Theutoïdes	abondants	abondants	très rares	présents ?
Crustacés	abondants	présents	présents	présents ?
Isopodes	absents ?	absents ?	très rares ?	présents
Plantes	présentes	très rares	très rares	très rares
Insectes	absents ?	abondants	abondants	abondants

l'absence de theutoïdes dans les lentilles de type III, mais semble en contradiction avec la présence de theutoïdes dans les lentilles de type I.

Cette contradiction peut être levée si nous supposons une différence de paléoenvironnement entre les lentilles de type I et de type II : celles de type I correspondraient à un milieu plus distal, avec un apport plus important en organismes marins que celles de type II, plus proximales. Mais cette étape du raisonnement ne fournit pas de renseignement sur le paléomilieu de type III.
La variation dans l'abondance des theutoïdes, organismes marins non ambigus, donne le gradient de distalité suivant, du plus distal au plus proximal (Tableau 2b) :

[lentilles de Bettembourg] –>
[Bascharage type I] –>
[Bascharage type II].

L'absence de renseignement sur les theutoïdes dans les lentilles de type III ne permet pas de conclure sur la distalité de ces lentilles. Les plantes, organismes d'origine terrestre, contredisent a priori le scénario précédent de gradient de distalité. Mais il s'agit là de l'hypothèse la plus « économique » car les autres scenarii possibles sur le gradient de distalité impliquent nettement plus de contradictions (concernant les theutoïdes, les insectes).
Dans le cadre de l'hypothèse précédente sur le gradient de distalité, la présence de crustacés dans les lentilles les plus distales de Bettembourg et dans celles de type II qui sont les plus proximales implique que ces organismes marins étaient présents dans le paléomilieu de type I mais ne s'y sont pas conservés. Si les theutoïdes, organismes nettement plus fragiles que les crustacés, s'y sont fossilisés, ils devaient y être nettement plus fréquents que les crustacés. Le tableau 2b peut être complété par le tableau 2c.

D'autre part, l'absence des isopodes dans les lentilles de Bettembourg suggère que ces organismes étaient absents dans le paléomilieu correspondant.
Dans le cadre de cette hypothèse, la présence des isopodes dans les lentilles de type III et leur absence (supposée) à Bettembourg et dans les lentilles de type II n'est congruente qu'avec l'hypothèse que celles de type III sont plus proximales que celles de type II, car les isopodes seraient alors à considérer comme des organismes vivant en milieu plus distal.
Dans le cadre de l'hypothèse contraire, le même raisonnement suggère que les lentilles de type II sont plus proximales que celles de type III car les isopodes seraient alors à considérer comme des organismes vivant en milieu plus proximal.
Il est impossible de conclure sur la position des lentilles de type II dans le gradient de distalité, bien que l'hypothèse minimale soit la première puisque la seconde implique une hypothèse supplémentaire sur la non-conservation des isopodes dans les lentilles de Bettembourg.
Le gradient de distalité le plus probable est alors (du milieu le plus distal au plus proximal) :

[Bettembourg lentilles] –> [Bascharage type I] –>
[Bascharage type II] –> [Bascharage type III].

Cette étude est congruente avec l'analyse de parcimonie de Wagner quant à une distalité plus

TABLEAU 3 — Comparaison faunique des gisements de Bascharage et de Bettembourg-Kayl. Actinoptérygiens. **L. Ba.**, lentilles, Bascharage ; **L. Be.**, lentilles, Bettembourg-Kayl ; **PL. Ba.**, pelites encaissantes des lentilles, Bascharage ; **PL. Be.**, pelites encaissantes des lentilles, Bettembourg-Kayl ; **N. Ba.**, nodules, Bascharage ; **N. Be.**, nodules, Bettembourg-Kayl ; **PN. Ba.**, pelites encaissantes des nodules, Bascharage ; **PN. Be.**, pelites encaissantes des nodules, Bettembourg-Kayl ; **P. Ba.**, pelites intermédiaires, Bascharage ; **P. Be.**, pelites intermédiaires, Bettembourg-Kayl ; **A**, absent ; **P**, présent ; **R**, présent mais rare (de 2 à 10 spécimens) ; **TR**, présent mais très rare (moins de 2 spécimens) ; **D**, présent et très fréquent, fossile le plus abondant dans le niveau concerné.

Fossiles/niveaux	L. Ba.	L. Be.	PL. Ba.	PL. Be.	N. Ba.	N. Be.	PN. Ba.	PN. Be.	P. Ba.	P. Be.
L. coryphaenoides	D	D alevin	P	P	TR	A	P	P	P	P
Lepidotes sp.	R	A	A	R	D	P	P	P	P	P
Dapedius sp.	P	P	P	A	A	A	A	A	A	A
Pholidophorus sp.	P	P	A	A	A	A	A	A	A	A
Pachycormus sp.	P	A	P	P	P	A	P	P	P	P
Caturus sp.	A	A	A	A	R	A	A	A	A	A
Tetragonolepis sp.	P	A	P	A	A	A	A	A	A	A
Euthynotus sp.	P	P	A	A	A	A	A	A	A	A

TABLEAU 4. — Comparaison faunique des gisements de Bascharage et de Bettembourg-Kayl. « Reptiles » (voir légende Tableau 3).

Fossiles/niveaux	L. Ba.	L. Be.	PL. Ba.	PL. Be..	N. Ba.	N. Be.	PN. Ba.	PN. Be.	P. Ba.	P. Be.
Crocodilien	P	A	A	A	P	A	A	A	A	A
Pterosaurien ?	A	A	A	A	TR	A	A	A	A	A
Ichthyosaure sp.	P	P	P	P	D	P	P	P	P	P

TABLEAU 5. — Comparaison faunique des gisements de Bascharage et de Bettembourg-Kayl. « Mollusques » (voir légende Tableau 3).

Fossiles/niveaux	L. Ba.	L. Be.	PL. Ba.	PL. Be.	N. Ba.	N. Be.	PN. Ba.	PN. Be.	P. Ba.	P. Be.
Harpoceras falcifer	R	P	R	P	P	P	P	P	D	D
Dactylioceras sp.	R	P	R	P	P	P	P	P	P	P
Tiltoniceras sp.	P	P	R	P	P	P	P	P	P	P
Phylloceras sp.	P	A	R	P	P	P	P	P	P	P
Hildoceras sp.	A	A	A	A	P	P	P	A	P	P
Lithoceras sp.	A	P	A	A	P	P	A	A	A	A
Aptychus sp.	TR	D	A	D	A	A	TR	TR	TR	TR
Nautiloidea	A	A	A	A	P	A	P	A	A	A
Geotheutis sp.	P	A	A	A	P	A	A	A	A	A
Pseudobelotheutis	P	P	A	A	A	P	A	A	A	A
Belothautis sp.	P	A	A	A	P	A	A	A	A	A
Bélemnites sp.	TR	P	R	P	P	P	P	P	P	P
Posidonies	R	P	R	P	P	P	D	D	P	P

TABLEAU 6. — Comparaison faunique des gisements de Bascharage et de Bettembourg-Kayl. « Arthropodes et végétaux » (voir légende Tableau 3). Conservation des bois : **J**, jayet ; **Si**, silicifié avec préservation des structures.

Fossiles/niveaux	L. Ba.	L. Be.	PL. Ba.	PL. Be.	N. Ba.	N. Be.	PN. Ba.	PN. Be.	P. Ba.	P. Be.
Proeryon sp.	P	A	P	P	A	A	A	A	A	P
Atrimops sp.	TR	D	TR	R	A	A	A	A	A	A
Isopodes	R	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Insectes	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Otozamites sp.	TR	P	A	A	A	A	A	A	R	R
Equisetacea	P	R	P	R	A	A	A	A	A	A
Bois	Si	Si	J	J	Si	Si	J	J	J	J

TABLEAU 7. — Comparaison des milieux de fossilisations de Holzmaden, Bascharage et Bettembourg-Kayl.

HOLZMADEN	BASCHARAGE	BETTEMBOURG-KAYL
Transgression suivie d'une régression (Gall 1979)	Transgression suivie d'une régression avec phase d'émersion momentanée	Transgression suivie d'une régression avec phase d'émersion momentanée
Dépôts très monotones (pas de nodules ni de lentilles)	Trois accidents de sédimentation (nodules et lentilles)	Trois accidents de sédimentation (nodules et lentilles)
Milieu marin (faunes marines avec de rares bois flottés)	Milieu littoral (faunes marines et terrestres)	Milieu côtier (faunes marines avec des éléments terrestres)

TABLEAU 8. — Matrice d'analyse de parcimonie de Wagner des niveaux à lentilles de Bettembourg et Bascharage.

Localités/caractères	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Bettembourg	0	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1
Basch. lent. type I	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Basch. lent. type II	2	1	1	2	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Basch. lent. type III	2	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Basch. nod. + lam.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

importante lors du dépôt des lentilles à Bettembourg qu'à Bascharage.

Ce résultat est à mettre en parallèle avec la présence relativement abondante par rapport à sa rareté habituelle, dans le niveau à lentilles de Bascharage, des actinoptérygiens *Tetragonolepis* sp. et avec leur absence à Bettembourg. Il est cohérent de penser que cet animal vivait probablement dans la zone littorale. Sa très grande rareté dans le Toarcien d'Holzmaden, gisement qui correspond à un paléomilieu nettement plus distal que Bascharage, est compatible avec cette hypothèse.

CONCLUSION

L'hypothèse de l'existence d'un épisode d'émersion à Bascharage-Bettembourg n'est pas en contradiction avec les données de l'histoire générale de la région au Toarcien. Il est généralement admis que le « golfe Toarcien du Luxembourg » s'est progressivement comblé. Le niveau à lentilles de Bascharage serait donc un témoin privilégié de l'une des phases de comblement d'un golfe peu profond, aux eaux stagnantes, où abondait une faune marine peu diversifiée. Certains organismes venaient s'y reproduire. L'abondance d'alevins (*Leptolepis coryphaenoides*) et de formes juvéniles de crustacés et d'ammonites, en particulier dans le niveau à lentilles de Bettembourg, suggère en effet que ce milieu correspondait vraisemblablement à une zone de reproduction et de développement pour ces organismes qui y trouvaient une abondante matière organique et peu de grands prédateurs par rapport à la mer ouverte. Notons qu'en Angleterre, les niveaux marins toarciens qui ont livré de très riches faunes d'insectes (Tillyard 1925 ; Zeuner 1962 ; Whalley 1985) sont aussi interprétés comme un milieu confiné de golfe en cours de comblement (Hallam 1967). Ces insectes semblent être fossilisés dans des lentilles de nature très semblable, sinon identique, à celle de Bascharage. Cela semble être la règle pour les gisements insectifères toarciens en Europe occidentale (Ansorge 1996).

Remerciements

Nous remercions J.-C. Fischer et S. Wenz, du Laboratoire de Paléontologie (MNHN, Paris)

ainsi que D. Noël (Laboratoire de Géologie, MNHN) pour leur précieux conseils lors de la réalisation de ce travail. Nous remercions M. D. Serette (Laboratoire de Paléontologie, MNHN), MM. A. Beaudon et G. Hatat (Département de Géologie de l'université de Reims) pour la réalisation des dessins, le tirage des photographies et la fabrication des lames minces de roches. Nous remercions également la direction et les ingénieurs de TDK Recording Media Europe SA, Bascharage, G.-D. du Luxembourg, les entreprises Baatz (Diekierch-L) et leur personnel, le personnel du chantier de construction de l'usine de Luxgard II pour leur précieuse collaboration lors des fouilles. Nous remercions aussi tout particulièrement M. C. Teixeira (Diekierch-L) pour la découverte de nombreux fossiles dont une nouvelle espèce d'Odonata fossile.

RÉFÉRENCES

Allison P. A. 1988. — Konservat-Lagerstätten: cause and classification. *Paleobiology* 14 (4): 331-344.

Amézieux J. 1972. — Association de nannofossiles calcaires du Jurassique d'Aquitaine et du Bassin parisien, *in* Colloques sur les Méthodes et Tendances de la Stratigraphie. Orsay, *Mémoires du Bureau de Recherches Géologique et Minière*, Paris 77 : 143-151.

Ansorge J. 1996. — Insekten aus dem oberen Lias von Grimmen (Vorpommern, Norddeutschland). *Neue Paläontologische Abhandlungen*, Dresden 2: 1-132.

Aubry M. P. & Depeche F. 1974. — Recherches sur les Schizosphères. I - Les Schizosphères de Villers-sur-Mer : variations morphologiques, ultrastructure et modifications diagénétiques. *Cahiers de Micropaléontologie*, Paris 1 : 1-15.

Barthel K. W. 1970. — On the deposition of Solnhofen lithographic limestone (Lower Tithonian, Bavaria, Germany). (Fossil-Lagerstätten, Nr. 6). *Neue Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhanlungen*, Stuttgart 135: 1-18.

Barthel K. W., Swinburne N. H. M. & Morris S. C. 1990. — *Solnhofen. A study in Mesozoic palaeontology*. Cambridge University Press, 213 p.

Baudoin R. 1957. — Les pellicules flottantes d'algues et de bactéries, et leur rôle dans la dispersion des arthropodes aériens de petite taille. *Comptes Rendus de la Société de Biogéographie* 296-297 : 47-52.

Bellan-Santini D., Dauvin J.-C. & Bellan G. 1994. — Analyse de données en écologie benthique : utilisation de la méthode de l'analyse de parcimonie. *Oceanologica Acta* 17 (3) : 331-340.

Bernouilli B. & Jenkyns H. C. 1970. — A Jurassic basin: the Glasenbach Gorge, Salzburg, Austria. *Verhandlungen Geologische B.-A Jahrbang 1970*, 4: 504-531.

Bernouilli B. & Rentz O. 1970. — Jurassic Carbonate facies and new Ammonite faunas from Western Greece. *Eclogae Geologicae Helvetica* 63 (2): 573-607.

Bode A. 1953. — Die Insektenfauna des Oster Ostniedersächsischen oberen Lias. *Palaeontographica* (A) Stuttgart 103 (1-4): 1-375.

Bontes A. 1941. — Contribution à l'étude du Jurassique de la bordure septentrionale du Bassin de Paris. *Bulletin des Services de la Carte géologique de France et des Topographies souterraines* 42 (205) : 1-440.

Bracherr Th. C. 1987. — Makrofossilführung der "Siemensi-Geoden" (Mittlerer Lias Epsilon, Unteres Toarcium) von Kerkhofen/Oberpfalz (Bayern): Neue Insekten und Pflanzenfunde. *Geologische Blatter NO-Bayern*, Erlanger 37 (3-4): 217-240.

Busson G. & Noël D. 1972. — Sur la constitution et la genèse de divers sédiments finement feuilletés (« laminites »), à alternances de calcaire et de matière organique ou argileuse. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris (D) 274 : 3172-3175.

Cayeux L. 1939. — Phosphates de chaux sédimentaires de France. *Étude des Gites minéraux de la France* 1 : 349 p.

Darlu P. & Tassy P. 1993. — *Reconstruction phylogénétique : concepts et méthodes*. Collection « Biologie théorique », Masson (publ.), Paris, 245 p.

Deflandre G. 1959. — Sur les nannofossiles calcaires et leur systématique. *Revue de Micropaléontologie* 2 (3) : 127-152.

Deflandre G. & Dangeard L. 1938. —*Schizosphaerella*, un nouveau microfossile méconnu du Jurassique moyen et supérieur. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris 207 : 115-117.

Delsate D., Hentotay M. & Godefroit P. 1992. — Présence d'insectes dans le Toarcien inférieur de la Belgique. *Bulletin de la Société belge de Géologie*, Bruxelles 100 (1-2) : 147-153.

Gabilly J. 1976. — Le Toarcien à Thouars et dans le Centre-Ouest de la France. *Stratotypes Français*, CNRS (publ.), Paris 3 : 217 p.

Gall J. C. 1979. — Paléoécologie et paléoenvironnements de quelques schistes bitumineux. *Documents du Laboratoire de Géologie de la faculté des sciences de Lyon* 75 : 19-31.

— 1995. — Biofilms et mattes microbiennes : leur contribution à la sédimentogenèse. *Comptes Rendus de l'Académie de Sciences*, Paris 321 (II a) : 823-835.

Hallam A. 1967. — An environmental study of the Upper Domerian and Lower Toarcian in Great Britain. *Philosophical Transactions Royal Society* (B). Biological Section, London (178) 252: 393-445.

Handlirsch A. 1939. — Neue Untersuchun gen über

die fossilen Insekten mit Ergänzungen und Nachträgen sowie Ausblücken auf Phylogenetische, Palaeogeographische und allgemeine Biologische Probleme. *Annalen der Naturhistorischen Museum*, Wien 49: 1-240.

Hanzo M. 1978. — À propos de nodules carbonatés du Toarcien inférieur de la région de Bettembourg (grand-duché de Luxembourg). *Congrès national des Sociétés savantes, Sciences*, Nancy 103 (4) : 343-349.

Kauffman E. G. 1978. — Benthic environments and paleoecology of the Posidonien-schiefer (Toarcian). *Neue Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*. Stuttgart 157: 18-36.

Keupp H. 1977. — Ultrafazies und Genese der Solnhofener Plattenkalke (Oberer Malm, Südliche Frankenalb). *Abhandlungen der Naturhistorischen Gesellschaft*, Nürnberg 38: 1-128.

Lambshead P. J. D. & Paterson G. L. J. 1986. — Ecological cladistics – an investigation of numerical cladistics as a method for analysing ecological data. *Journal of Natural History* 20: 895-909.

Lang W. D. & Spath L. F. 1926. — The Black Marl of Black Ven and Stonebarrow in the Lias of the Dorset Coast. *Quartely Journal of the Geological Society*, London 82 (2): 144-187.

Masselot G., Nel A., Thomas A. & Nel J. 1997. — Parcimonie de Wagner et biomonitoring de cours d'eau : application au bassin de la Risle (Normandie, France). *Annales de la Société Entomologique de France*, N.S. 33 (3) : 237-258.

Nel A. 1989. — Les Gyrinidae fossiles de France (Coleoptera). *Annales de la Société Entomologique de France*, N.S. 25 (3) : 321-330.

Nel A., Martínez-Delclòs X., Paicheler J.-C. & Henrotay M. 1993. — Les « Anisozygoptera » fossiles. Phylogénie et classification (Odonata). *Martinia*; numéro hors-série 3 : 1-311.

Noël D. 1972. — Nannofossiles calcaires de sédiments jurassiques finement laminés. *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle*, Paris (3), n° 75, Sciences de la Terre, 14 : 95-155.

O'Brien N. R. 1990. — Significance of lamination in Toarcian (Lower Jurassic) shales from Yorkshire, Great Britain. *Sedimentary Geology* 67: 25-34.

Oschman W. 1994. — Adaptative pathways of benthic organisms in marine oxygen-controlled environments. *Neue Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, Stuttgart 191: 393-444.

Prager E. J. & Ginsburg R. N. 1989. — Carbonate nodule growth on Florida's Outer Shelf and its implications for fossil interpretations. *Palaios* 4: 310-317.

Rioult M. 1964. — Sur un mode particulier de fossilisation des Schizosphères (Algues microplanctoniques jurassiques) et sur la glauconie bajocienne du Calvados. *Bulletin de la Société Linnéenne de Normandie* 10 (5) : 24-38.

— 1968. — *Contribution à l'étude du Lias de la bordure occidentale du Bassin de Paris*. Thèse de Doctorat d'État, université de Caen, n° CNRS AO 1789, 565 p.

Seilacher A. 1990. — Die Holzmadener Posidonienschiefer. Entstehung der Fossillagerstätte und eines Erdölmuttergesteins: 107-131, *in* Weidert W. K. (ed.), *Klassische Fundstellen der Paläontologie*, 2. Golschneck-Verlag, Korb.

Tillyard R. J. 1925. — The British Liassic dragonflies. *British Museum Fossil Insects*, London 1: 1-39.

Urbain P. 1951. — Recherches pétrographiques et géochimiques sur deux séries de roches argileuses, *in Mémoires pour servir à l'exploitation de la Carte géologique de la France*. Secrétariat d'État à la Production industrielle, Paris, 278 p.

Viohl G. 1990. — Solnhofen Lithographic Limestones: 285-289, *in* Briggs D. E. G. & Crowther P. R. (eds), *Palaeobiology, a synthesis*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne.

— 1992. — Taphonomie des calcaires lithographiques de Solnhofen (Jurassique supérieur, Allemagne) et comparaison avec d'autres calcaires lithographiques : 15-17, *in* Gall J.-C. & Grauvogel-Stamm L. (eds), *Taphonomy: Processes and Products*, European Palaeontological Association Workshop, Strasbourg, June, 26-27, 1992.

Whalley P. E. S. 1985. — The systematics and palaeogeography of the Lower Jurassic insects of Dorser, England. *Bulletin of the British Museum Natural History (Geology)* 39 (3): 107-187.

Wollanke G. & Zimmerle W. 1990. — Petrographic and geochimical aspects of fossil embedding in exceptionally well-preserved fossil deposits. *Mitteilungen Geologische-Paläontologische Institut Universität*, Hamburg 69: 77-97.

Zeuner F. 1962. — Fossil insects from the Lower Lias of Charmouth, Dorser. *Bulletin of the British Museum Natural History (Geology)*, London 7: 155-171.

Soumis pour publication le 24 février 1997 ;
accepté le 15 janvier 1998.

Les premiers pas d'un naturaliste sur les sentiers du Wurtemberg : récit inédit d'un jeune étudiant nommé Georges Cuvier

Philippe TAQUET
Laboratoire de Paléontologie, URA 12 du CNRS, Muséum national d'Histoire naturelle,
8 rue de Buffon, F-75231 Paris cedex 05 (France)

Taquet P. 1998. — Les premiers pas d'un naturaliste sur les sentiers du Wurtemberg : récit inédit d'un jeune étudiant nommé Georges Cuvier. *Geodiversitas* 20 (2) : 285-318.

RÉSUMÉ
Du 20 au 28 avril 1788, trois jeunes étudiants de l'Université ducale (Université Caroline) du Wurtemberg effectuèrent de Stuttgart à Tübingen une grande randonnée : excursion botanique, entomologique et géologique dans les Alpes souabes. Parmi eux se trouvait un jeune naturaliste nommé Georges Cuvier, alors âgé de dix-huit ans. Cuvier se chargea de rédiger le récit de cette petite expédition. Le texte qu'il nous a laissé est révélateur de l'état d'esprit d'un jeune et brillant étudiant qui a agrémenté son texte de dessins au crayon et d'une aquarelle. Plusieurs versions de ce récit, probablement quatre, ont dû exister. Le texte, que nous publions ici, est tiré de la traduction française d'une version en langue allemande conservée dans le fonds Cuvier des archives de l'Institut de France. Ce texte constitue sans aucun doute le premier écrit d'un jeune naturaliste qui deviendra, comme on le sait, l'une des plus grandes figures de la science du XIXe siècle.

MOTS CLÉS
histoire des sciences,
voyage,
Wurtemberg,
Allemagne.

ABSTRACT
The first steps of a naturalist on the paths of Wurtemberg: unpublished relation of a young student called Georges Cuvier. From April 20th to 28th 1788, three young students from the Caroline University of Wurtemberg went hiking from Stuttgart to Tübingen, making a botanic, entomologic and geologic excursion through the Souab Alps. Among them was a young naturalist called Georges Cuvier, then eighteen years old. Cuvier was in charge of writing the story of this small expedition. The text he prepared shows the mind of a young and brilliant student who completed his text with drawings and one water-colour. Several drafts, probably four, of this story must have existed. The text published here is the French translation of the German document preserved in the archives of the Institut de France. This document is undoubtly the first text of a young naturalist who became one of the most famous figures of Science during the nineteenth century.

KEY WORDS
history of science,
travel,
Wurtemberg,
Germany.

Présentation, commentaires et notes (P. Taquet)

Georges Cuvier a quatorze ans et demi lorsqu'il arrive le 4 mai 1784 à Stuttgart, capitale du duché de Wurtemberg, pour être admis le 8 mai au sein de l'Université ducale Charles (ou Université Caroline).

C'était, nous explique Cuvier dans son autobiographie, un établissement vraiment magnifique. Environ 400 boursiers et pensionnaires (logés dans un édifice tel qu'il n'y en a aucun d'approchant en Europe parmi ceux qui sont consacrés à l'instruction de la jeunesse) vêtus d'un bel uniforme, conduits par des officiers et des sous-officiers tirés des régiments du duc, recevaient des leçons de tous genres de plus de quatre-vingts maîtres ou professeurs. On a beaucoup parlé de l'esprit de despotisme avec lequel le duc disposait de leurs personnes et choisissait pour chacun d'eux l'état qu'il devait embrasser, et je crois en effet qu'il en était ainsi dans l'origine de l'établissement, mais de mon temps je n'ai rien vu de semblable, et ce qui est certain c'est que personne ne prétendit même me donner de conseil à cet égard. Il y avait cinq facultés supérieures, droit, médecine, administration militaire et commerce. Après un an de philosophie, je choisis l'administration qui en Allemagne embrasse les parties élémentaires et pratiques du droit, les finances, la police, l'agriculture et la technologie ; mon principal motif fut que dans cette faculté on s'occupait beaucoup d'histoire naturelle, et que j'aurais de fréquentes occasions d'herboriser et de visiter les cabinets[1].

Cuvier suit les cours d'histoire naturelle de Johann Simon Kerner[2], participe aux travaux de botanique de celui-ci ; pour le remercier, son professeur lui offre la dixième édition du *Systema Naturae* de Linné[3], qui sera pendant dix années son compagnon et son guide lors de ses herborisations, édition couverte d'annotations de Cuvier que nous venons de retrouver dans le fonds de la Bibliothèque centrale du Muséum national d'Histoire naturelle (Figs 1, 2). Cuvier, beaucoup plus tard, dans son autobiographie, manifestera quelque ingratitude à l'égard de Kerner en écrivant : « Que l'on ne croit pas cependant que mon instruction en histoire naturelle n'ait point exigé d'efforts de ma part. Notre professeur dans cette partie, Kerner, connu par quelques ouvrages de botanique à figures n'était que dessinateur et nullement naturaliste. À peine avait-il quelques connaissances pratiques des plantes, mais il me fit présent d'un Linnaeus, en retour de la peine que je pris de traduire en français son ouvrage sur les plantes économiques et ce livre (c'était la dixième édition) fut pendant dix ans mon compagnon et mon guide dans mes travaux solitaires. » En 1787, il fonde avec quelques

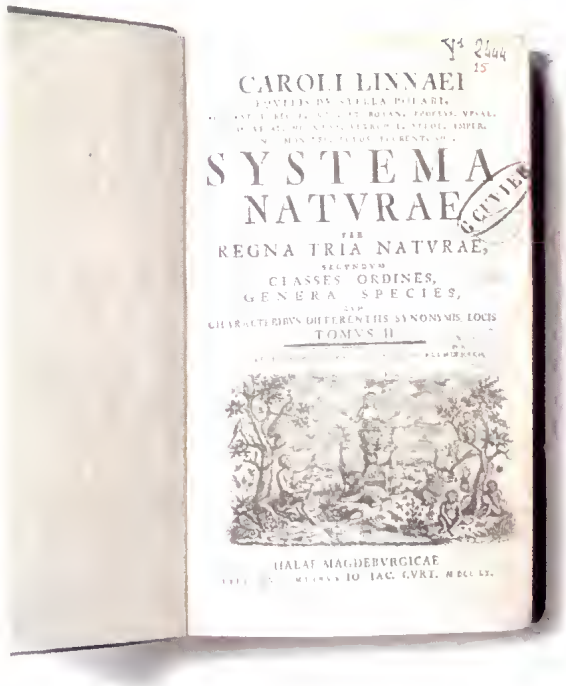
1. G. Cuvier : *Mémoires pour servir celui qui fera mon éloge écrits au crayon dans ma voiture pendant mes courses de Paris en 1822 et 1823, cependant les dates sont prises sur des pièces authentiques*. Bibliothèque de l'Institut de France.

2. Johann Simon Kerner (1755-1830) professeur à l'Académie Caroline de Stuttgart ; botaniste, il publia en 1786 une *Flora Stuttgardiensis, Oder Verzeichnis der um Stuttgart wildwachsenden Pflanzen*. Dans l'avant-propos de sa *Flora stuttgardiensis*, Simon Kerner remerciera Cuvier et l'un des amis de Cuvier, Marschall von Biberstein (cf. note 4) pour leur contribution à la récolte et à la détermination de plantes (Adam 1969).
Adam K. D. 1969. — Georges Cuvier und das Stuttgarter Naturalien Kabinett. I. Cuvier in der Hohen Carlsschule *In Cuvier und Württemberg*. Schwäbische Druckerei, Stuttgart.

3. Charles Linné (1707-1778) ; Mme Françoise Caby, de la Bibliothèque centrale du Muséum national d'Histoire naturelle a retrouvé parmi les ouvrages faisant partie du fonds ancien les volumes donnés par J. S. Kerner à G. Cuvier. Le tome II porte sur la page de garde la signature de Kerner et, sur la page du frontispice, celle de Cuvier (cote de l'ouvrage : Y1.2444 15). Il s'agit de la dixième édition du *Systema Naturae* imprimée à Halle en 1760. Les pages de ce volume sont couvertes d'annotations de la main de Cuvier (au crayon et à l'encre brune ou rouge) ; s'y trouvent également un billet avec quelques noms de plantes et même un fragment d'une plante séchée comprenant une feuille et un rhizoïde de *Lemna* ou lentille d'eau (détermination M. Jolinon du laboratoire de Phanérogamie).
Cuvier, avec la précision dont il était coutumier, donnera dans le volume 1 de *l'Histoire naturelle des poissons* (1828 : 101) consacré à l'histoire de l'ichtyologie la liste des éditions du *Systema naturae* : « Les éditions originales du *Systema naturae* se réduisent à six. La première, de Leyde, 1735 ; la deuxième, de 1740 ; la sixième, de 1748 ; la huitième de 1753 : toutes les trois en un volume. La dixième, de 1758, en trois volumes ; et la douzième, de 1766, en quatre. Les cinq dernières sont toutes de Stockholm. La troisième, de Halle, 1740, est une copie de la première ; la quatrième de Paris, 1744, est une copie de la deuxième, faite par les soins de Bernard de Jussieu, qui y ajouta les noms français. Il en est de même de la cinquième, de Halle, 1747, à laquelle on a joint les noms allemands. La septième de Leipzig, 1748, et la neuvième, de Leyde, 1756, sont prises de la sixième ; mais, dans la neuvième, la partie des poissons est augmentée de plusieurs genres par l'éditeur Gronovius. La dixième a été réimprimée à Halle en 1760, et à Leipzig en 1762 ; mais il faut que Linnaeus n'ait pas connu la réimpression de Halle, puisqu'il ne compte celle de Leipzig que pour la onzième. La douzième a été réimprimée à Vienne sous le nom de treizième, en 1773, ce qui n'a pas empêché Gmelin de donner ce numéro de treizième à sa grande édition de 1788, qui est la dernière, mais qui elle-même a été réimprimée à Lyon en 1790 et les années suivantes. »

Fig. 1. — Ouvrage de Linné (*Systema Naturae*) offert par Johan Simon Kerner, professeur à Stuttgart, à son élève Cuvier ; la page de garde porte la signature de Kerner ;

la page de titre, le nom de Cuvier, son cachet et celui de son frère Frédéric. © Bibliothèque centrale du Museum national d'Histoire naturelle.



CAROLI LINNAEI
SYSTEMA
NATVRAE
REGNA TRIA NATVRAE,
CLASSES ORDINES,
GENERA SPECIES,
TOMVS II
HALAE MAGDEBVRGICAE

FIG. 2. — Les annotations de Cuvier sur les pages de l'ouvrage de Linné offert par Kerner.

camarades une société d'histoire naturelle dont il est l'animateur et le président. Au terme de ses études, il décide avec deux de ses amis d'effectuer une randonnée de près de 160 kilomètres, une excursion botanique, entomologique et géologique dans le Jura souabe ; ses deux compagnons de voyage sont le baron Ernst Franz Ludwig Marschall von Biberstein (1770-1834)[4], originaire de Wallerstein, qui deviendra ministre d'État de Nassau et M. Ihm de Hanau, ville de Hesse où s'établirent après la révocation de l'édit de Nantes un certain nombre de protestants français. À ces trois étudiants se joint un gentilhomme qui est le professeur de Marschall, sans doute son précepteur, mais dont Cuvier ne donne pas le nom. Le texte montre à plusieurs reprises que le nombre des randonneurs est bien de quatre.

Cuvier est chargé de rédiger le récit de cette petite expédition, tâche dont il s'acquitte parfaitement. La randonnée commence le 20 avril pour s'achever le 28 avril 1788. Cuvier est alors âgé de dix-huit ans. Son texte, en allemand, est très vivant et agrémenté de plusieurs dessins, chacun brossant une scène des faits marquants qui se sont produits durant l'excursion.

Ce récit constitue sans aucun doute le premier écrit construit d'un jeune naturaliste qui deviendra comme on le sait, l'une des grandes figures de la science du XIXe siècle. Le voyage terminé, Cuvier quitte le Wurtemberg et retrouve Montbéliard sa ville natale où il passe l'été 1788 ; puis il se rend en Normandie, ayant trouvé un emploi de précepteur auprès de la famille du comte d'Héricy qui habite Caen. À Montbéliard,

4. Le baron Ernst Franz Ludwig Marschall von Biberstein (ou Bieberstein) (1770-1834) qui séjourna de 1782 à 1790 à l'Université Caroline.

5. Christoph Heinrich Pfaff (1773-1852) séjourna de 1782 à 1793 à l'Université Caroline pour y apprendre la médecine. Il fut, à partir de 1798, professeur à Kiel et y enseigna la médecine,

Cuvier met au propre ses notes de voyage et, le 14 octobre 1788, de Caen, il écrit à son cher ami et collègue d'université Christoph Heinrich Pfaff[5].

Mon cher ami,

J'aurai cette fois la satisfaction de t'annoncer que j'ai rempli deux de mes principaux engagements. Tu recevras en effet deux manuscrits de Montbéliard, dont je veux ici, pour satisfaire un peu ta curiosité, te donner l'analyse.
I Les crustacés comestibles des côtes de France[6] [...].
II Huit jours de voyage aux Alpes wurtembergeoises[7] par quelques Académiciens, rédigé par G. L. F. D. Cuvier, l'un d'eux, chevalier de l'ordre Académique à cette époque, Caen 1788 ; cinquante-six pages in-8° de l'écriture la plus serrée. Tout est raconté fidèlement, et partout j'ai introduit dans le récit des remarques d'histoire naturelle qui m'ont paru neuves. Outre deux plans nécessaires à l'intelligence du texte, il y a encore huit dessins au lavis qui représentent les aventures qui nous arrivèrent à nous huit[8] ; comme il suit : 1° le dessin du frontispice représente un paysage ; 2° l'affaire des bottes de M. Ihm ; 3° la promenade sur le Teckberg ; 4° le tricoteur de bas à Münsingen ; 5° l'épouvantable coup de vent dans la prairie de Frohnthal ; 6° la pluie à Ohmdemerthal ; 7° l'orgie de table à Tübingen ; 8° l'excursion à Stuttgart.
Au bas de chaque dessin est une épigraphe appropriée, tirée de Virgile ou d'Horace, et qui vous plaira, j'espère. Ces deux petits manuscrits sont actuellement chez le relieur, et je vous les enverrai par la diligence (le port serait trop cher par la poste) à Montbéliard, d'où vous les recevrez de la même manière. Mais tout cela aux conditions suivantes indissolubles : 1° la propriété de l'exemplaire me reste ; 2° toi, Christophe Pfaff, tu en as la jouissance jusqu'à ce que j'aille les chercher moi-même ou que je les réclame par lettres, et j'attends de ton amitié que tu mettras tous tes soins à les conserver en parfait état ; 3° tu les communiqueras pour qu'elles les lisent à toutes les personnes dont la liste est jointe à chaque volume. Si tu t'engages par écrit dans ta prochaine lettre à exécuter tout cela, tu recevras de temps en temps tous les petits traités que je rédigerai sur différents sujets, sinon tu ne recevras plus rien de moi, car je n'ai ni le temps ni aucun plaisir à copier la même chose deux fois de suite, et je ne peux pas trouver ici un bon copiste allemand. Assez là-dessus[9].

Dans une lettre ultérieure de Cuvier à Pfaff datée du 18 octobre 1788, Cuvier recommande à son ami de donner à lire à ses amis du Wurtemberg ce récit de voyage ; le frontispice situé en tête du volume relié représente le dessin des cascades de Pfüllingen ; nous apprenons dans ce courrier qu'un épisode relatif à M. Ihm envoyé à Cuvier par le baron Marschall n'a pas été inséré dans le récit car le ton avec lequel il était rédigé ne le permettait pas (cet épisode s'est déroulé à Pfüllingen).

Pfaff reçoit bien ce récit de Cuvier ; le 17 janvier 1789, il écrit à Cuvier :

Très cher ami,

Ta lettre du 31 de cette année m'a procuré un plaisir extraordinaire, mais ce plaisir ne devait pas encore être complet. C'est le samedi, donc le jour de l'anniversaire de la duchesse à 7 heures, que je l'ai reçue et le lundi à 7 h 12, j'ai eu tout le paquet. Tu ne peux t'imaginer quelle joie s'est répandue parmi nous. Tout le monde se précipite sur le paquet et, en l'ouvrant, nous trouvâmes tes deux traités que tu avais promis depuis si longtemps et que nous avons attendus avec tant d'impatience, nous y avons trouvé des plantes, bref, bien plus que nous pouvions espérer. Les deux traités ont été dévorés. Tes traités sur les crabes comestibles

la physique et la chimie ; ami de Cuvier, il échangea avec lui une correspondance suivie et lui rendit visite à Paris en 1801, puis en 1829. Les lettres de Cuvier à Pfaff ont été publiées en allemand puis en français :
Pfaff C. H. 1845. — *Georges Cuvier's Briefe an C. H. Pfaff aus den jahren 1788 bis 1792, naturhistorischen, politischen und literarischen Inhalts. Nebst einer biographischen Notiz über G. Cuvier.* Kiel, 309 p.
Pfaff C. H. 1858. — *Lettres de Georges Cuvier à C. H. Pfaff sur l'Histoire Naturelle, la Politique et la Littérature. 1788-1792*, traduites de l'allemand par Louis Marchant. Librairie Victor Masson, Paris, 314 p.

6. Cuvier donne des détails sur ces descriptions, que nous ne reproduisons pas ici.

7. Cuvier utilise l'expression « *Wurtembergische Alb* ». Comment traduire en français cette expression ? Le traducteur Louis Marchant en 1858 utilise l'expression « Alpes wurtembergeoises ». Après avoir consulté mon collègue et ami wurtembergeois, le Dr Rupert Wild du Staatliches Museum für Naturkunde de Stuttgart, j'emploierai, sur ses conseils l'expression « Alpes souabes » ; l'expression « *Wurtembergische Alb* » ou « *Württembergische Alb* » est l'expression ancienne de ce que nos collègues appellent aujourdhui « *Schwäbische Alb* » et que l'on nomme en français : Jura souabe. La partie bavaroise de l'« *Alb* », au nord-est, c'est-à-dire la Franconie *sensu stricto*, est appelée « *Fränkische Alb* » pour la distinguer de la partie occidentale wurtembergeoise ou « *Schwäbische Alb* ».

8. En fait « à nous trois », le chiffre 3 a été transformé en 8 dans la traduction française.

9. *id.* Pfaff C. H. 1858 : 57-59.

m'ont extrêmement plu, et les dessins sont parfaitement réussis sur le plan esthétique, tout le monde en convient, [...] La description du discours est superbement réussie. Ceux qui l'ont lue ont eu le plus grand plaisir. Les vignettes sont superbement réussies surtout celles représentant l'affaire Striefel et les fêtes de Tübingen ; les paroles écrites en dessous sont tout particulièrement bien choisies et tout un chacun s'étonne de ta connaissance de Virgile. On trouve tes remarques sur l'histoire naturelle très bonnes, également la richesse de tes descriptions qui excellent en finesse et en esprit, esprit qui souvent tourne à la satire. Des mots allemands manquent par ci par là, mais simplement par ci par là. Comme je l'ai déjà dit, tu y as mis ton point d'honneur. Je l'ai passée autour de moi, à ceux que tu m'as nommés et je la passerai encore aux autres. Marschall a été très content que tu la lui ais dédiée. Mon cher La Duttenhofer et le gentilhomme campagnard l'ont eue et ils l'ont lue tous deux avec le plus grand plaisir. C'est en effet le conseiller aulique Ketner qui a le traité sur les crabes...[10]

Pfaff fait une critique du récit de Cuvier, qu'il adresse à son condisciple ; celui-ci la reçoit le 11 mai 1792 et Cuvier, le 13 mai 1792[11], répond aux remarques de son ami :

J'approuve la critique de mon récit de voyage. Je n'avais pas alors en géognosie les connaissances qui sont nécessaires pour accomplir avec fruit un pareil voyage. Ce n'est pas étonnant ; car je n'avais pas de professeur (un conseiller Stahl ne m'en tenait guère lieu), et les études que je faisais alors, pensant qu'elles pourraient être utiles à mon avenir, le droit et les sciences administratives, me prirent la plus grande partie du temps que j'aurais pu consacrer à l'histoire naturelle. De là, les remarques peu nombreuses et incomplètes, et particulièrement la conjecture ridicule que tu blâmes avec pleine raison et dont je me garderais d'autant plus de parler aujourd'hui, en supposant même que tous les faits allégués fussent aussi vrais que la plupart sont faux, que le mode de formation du Bopser, telle qu'elle est reçue, serait encore physiquement impossible. À l'égard des descriptions des lieux et des hommes, les situations variées où je me trouvai entre le voyage et la description, mon genre de vie, tout nouveau et agité, avaient emporté mes impressions loin de mes pensées, et mon journal était en partie si endommagé, que je dus décrire les trois derniers jours uniquement d'après mes souvenirs. Enfin mes compagnons de voyage n'étaient pas tels qu'ils l'eussent été si le choix eut dépendu de moi. Tu comprendras facilement quelle influence tout cela dut exercer sur moi. Je n'ai pas vu un seul *Chrysosplenium* au Nebelloch...

Pfaff ne renverra pas comme promis le récit de Cuvier à son auteur ; dans la notice biographique de son défunt ami placée en tête de l'édition des lettres de G. Cuvier à C. H. Pfaff, son correspondant wurtembergeois écrit :

... La description très animée et très instructive que fit Cuvier de cette excursion fut encore embellie par des esquisses remarquables représentant les petites et plaisantes aventures de ce voyage, quelques vues des plus pittoresques et les objets naturels les plus curieux. La perte de ce premier travail de la plume de Cuvier est très regrettable. J'ai possédé quelque temps cette relation de voyage, j'ignore ce qu'elle est devenue. Mais l'impression qui m'est restée de ces descriptions, de ces scènes de voyage, de l'esprit et de l'entrain avec lesquels elle est écrite, est ineffaçable. On y lisait encore un grand nombre de notes intéressantes sur la botanique, la minéralogie, et des observations faites au point de vue administratif. Je mentionne comme curiosité de ce genre la description d'une tourbière et de l'usage de la tourbe ; ce qui était pour ces contrées quelque chose de tout à fait extraordinaire et nouveau. Cuvier fut pour nous un modèle dans cet emploi des vacances, dans la manière de décrire ces sortes de voyages. Le chancelier Autenrieth, plus tard si célèbre, et qui ne devint notre associé qu'après que Cuvier eut quitté Stuttgart, fut le premier qui marcha sur ses traces, par un voyage de vacances à la Forêt Noire du Wurtemberg. Je fis aussi de semblables voyages pendant trois vacances. L'un deux a été imprimé sous le titre de *Fantaisies d'un cosmopolite dans les Alpes wurtembergeoises* (Oeringen 1788).[12]

Une relation du voyage de Cuvier existe fort heureusement dans les archives de la bibliothèque de l'Institut de France (Académie des sciences). Elle a été répertoriée par H. Dehérain dans son catalogue des manuscrits du fonds Cuvier[13]. Le texte est peut-être une version traduite en allemand par Cuvier et avant la mise au propre de son

10. *In* lettres de C. H. Pfaff à Cuvier ; bibliothèque de l'Institut de France. Fonds Cuvier. Carton J.215.9 [les lettres sont en gothique cursif ; la transcription en français est de H. Fischer].

11. Pfaff C. H. 1858 : 272. La lettre serait de 1792, ce qui me semble peu probable ; les remarques de Pfaff ont dû être envoyées la même année, c'est-à-dire en mai 1789 et non pas trois années après l'envoi du récit de Cuvier à Pfaff.

12. *Ibid.* : 20.

13. Dehérain H. 1908/1922. — *Catalogue des manuscrits du fonds Cuvier conservés à la bibliothèque de l'Institut de France*, tome 1, 1908, librairie Honoré Champion, Paris, 154 p. ; tome 2, 1922, observatoire d'Abbadia, Hendaye, 76 p.

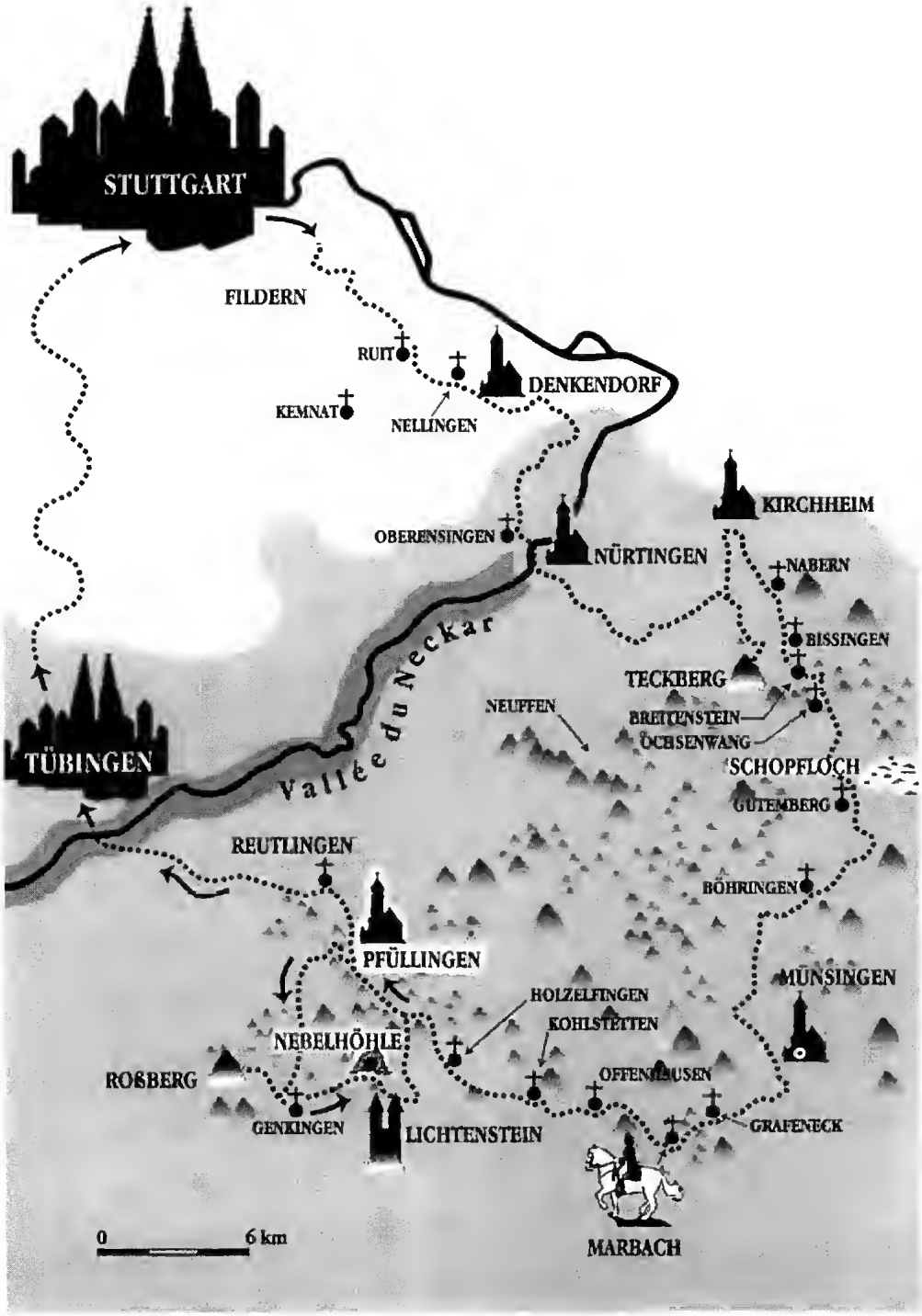


FIG. 3. — Carte de la région visitée par Georges Cuvier et ses compagnons de randonnée. Les noms de lieux correspondent aux noms en usage actuellement dans le Wurtemberg.

récit, apparemment destinée à son ami Marschall ; par contre, les dessins qui l'accompagnent semblent être les feuillets originaux du carnet utilisé par Cuvier lors de sa randonnée. L'ensemble était dans les papiers de Cuvier, papiers qui furent déposés par son neveu Frédéric aux archives de l'Académie.

Cette version (Ms 3312) comprend trente-cinq feuillets écrits recto verso, sans paragraphes avec des feuilles doubles ou simples (format : 180 à 200 mm de hauteur pour 110 à 120 de largeur). Cette version a pour titre : *Reise auf die Wurtembergische Alb* ; elle est adressée à Monsieur le Baron Marschall de Biberstein avec quelques mots d'accompagnement et est datée du 2 octobre 1788 à Caen. C'est ce texte, inédit, que nous publions. Dans son remarquable travail sur Georges Cuvier, D. Outram[14] fait allusion à ce récit (p. 28). Elle suppose que Cuvier et ses compagnons eurent l'idée de cette randonnée dans les montagnes du Wurtemberg, influencés par les récits de voyage et les travaux d'Horace Bénédict de Saussure dans les Alpes[15].

One such figure was Horace Benedict de Saussure, whose Voyages dans les Alpes *became one of the classics of romantic attitudes to nature. In his volumes, appreciation of sublime scenery was combined with detailed geological observations, and a cosmopolitan disregard for the political boundaries imposed by man on the surface of nature. In conscious imitation of Saussure, in his last summer in Stuttgart, Cuvier, with Biberstein and two other companions undertook his own journey into Alps.*[16]

D. Outram a raison d'avancer cette idée ; elle cite en effet une lettre adressée par Cuvier à de Saussure depuis la Normandie ; dans cette lettre dont subsiste le brouillon[17], Cuvier écrit :

Monsieur,

C'est le sort des savants illustres, de ne connaître personnellement qu'une bien petite partie de leurs disciples. Quel que soit le nombre de ceux qui vous entendent à Genève, il est bien petit en comparaison de ceux qui répandus dans toute l'Europe étudient vos ouvrages ; quelques-uns de ceux-ci, habitants de St [Stuttgart], ayant voulu à votre exemple parcourir une partie de leur pays et ayant consigné leurs observations dans ce petit ouvrage ont voulu vous le présenter comme un gage de la gratitude qu'ils ressentent en particulier pour tous les faits dont vous avez enrichi l'histoire naturelle. Comme je suis le rédacteur de leur livre, c'est aussi moi qu'ils ont chargé de vous l'adresser. Soyez persuadé du plaisir vif que je prends à m'acquitter de cette mission, et des sentiments de vénération avec lesquels je suis, Monsieur...

Le premier volume des récits de voyage de de Saussure a été publié en 1779 et l'illustre naturaliste suisse avait effectué l'ascension du Mont Blanc en 1787 ; ces écrits et cet événement avaient dû impressionner les jeunes étudiants de Stuttgart. Comme le soulignait Jacques Roger en 1974[18] : « Ce nouveau type d'études convenait assurément mieux au nouvel esprit scientifique. Il était favorisé par la popularité d'un nouveau genre littéraire, le voyage scientifique, qui, au moins dans certains cas comme celui de Saussure, imposait à la recherche l'unité d'une région. » L'admiration de Cuvier et de ses compagnons pour le courageux vainqueur du Mont Blanc se comprend aisément car leur randonnée sur les modestes sommets des Alpes souabes ne peut rivaliser avec les ascensions d'un de Saussure qui avoue lui-même :

Ces excursions sont pénibles je l'avoue ; il faut renoncer aux voitures, aux chevaux même, supporter de grandes fatigues, et s'exposer quelquefois à d'assez grands dangers. Souvent le naturaliste, tout près de parvenir à une sommité qu'il désire vivement atteindre, doute encore si ses forces épuisées lui suffiront pour y arriver, ou s'il pourra franchir les précipices qui lui en défendent l'accès : mais l'air vif et frais qu'il respire fait couler dans ses veines un baume qui le restaure, et l'espérance des grands spectacles dont il va jouir, et des vérités nouvelles qui en seront les fruits, ranime ses forces et son courage (de Saussure 1779).

14. Outram D. 1984. — *Georges Cuvier. Vocation, Science and Authority in Post-Revolutionary France.* Manchester University Press, 299 p.

15. Saussure de H. B. 1779. — *Voyages dans les Alpes, précédés d'un essai sur l'histoire naturelle des environs de Genève.* Volume I. Samuel Fauche imprimeur, Neufchâtel, 540 p.

16. Outram 1984, *loc.cit.* : 27, 28.

17. Bibliothèque de l'Institut de France, fonds Cuvier.

18. Roger J. 1974. — Le feu et l'histoire : James Hutton et la naissance de la géologie, *in Approches des Lumières ; Mélanges offerts à Jean Fabre.* Klincksieck, Paris : 415-429 [réédité en 1995 *in Pour une histoire des Sciences à part entière.* Albin Michel, Paris].

Cuvier, piètre marcheur, invoquera en introduction à son récit, la manière de voyager du célèbre promeneur et botaniste solitaire, Jean-Jacques Rousseau, plutôt que celle d'Horace Bénédict de Saussure.

Il y a donc eu au moins quatre versions du voyage de Cuvier dans les Alpes souabes ; la première adressée à Pfaff et qui a été égarée par ce dernier ; la deuxième destinée à Marschall von Bieberstein, mais nous ne savons pas si celui-ci l'a effectivement reçue ; la troisième adressée à de Saussure, cette version se trouve peut-être aujourd'hui dans le fonds de Saussure à Genève ; la quatrième, la seule connue, conservée dans les papiers de Georges Cuvier.

Pour retrouver les lieux et les paysages visités par Cuvier et ses trois compagnons de voyage, je me suis rendu en Allemagne et j'ai suivi, du 11 au 13 août 1994, l'itinéraire qu'ils avaient emprunté (Fig. 3). Malgré les profonds changements intervenus dans la région depuis la fin du XVIIIe siècle, malgré les destructions de la dernière guerre, l'urbanisation, la densité du réseau routier, bon nombre des localités décrites dans ce récit demeurent et elles ont conservé tout leur caractère et tout leur charme.

À Stuttgart, la célèbre et magnifique Académie Caroline a malheureusement été détruite par les bombardements du 17 octobre 1944 et seule subsiste derrière le Neues Schloss une belle fontaine restaurée qui marque l'emplacement de l'Académie au cœur de laquelle se trouvait l'original en 1788[19]. Les trois marcheurs, après avoir quitté Stuttgart et gravi vers le sud la cuesta formée des grès triasiques du Stubensandstein, atteignent le plateau boisé des Fildern ; le terme de leur première étape sera le couvent du petit village de Denkendorf ; les lieux n'ont pratiquement pas changé[20] ; l'église a été bâtie entre 1200 et 1250 ; les bâtiments servent aujourd'hui de lieu de rencontre et d'études bibliques ; une petite pièce d'eau témoigne encore de l'emplacement des viviers à poissons évoqués par Cuvier.

Le charmant village de Nürtingen au bord du Neckar a sa rue principale bordée de maisons anciennes traditionnelles ; parmi celles-ci, une vieille pharmacie fondée au XVIe siècle évoque celle de l'apothicaire Clemms auquel Cuvier rendit visite.

La butte témoin du Teckberg dont l'ascension fut l'un des temps forts de la randonnée puisque Cuvier l'effectua au bras d'une charmante jeune fille, domine toute la plaine ; la vue y est magnifique ; la tour qui la domine a été reconstruite en 1790 après le passage de Cuvier ; le trou de la Sybille, dans lequel Cuvier n'a pas voulu s'aventurer, a été fouillé en 1898 et a livré des ossements d'ours des cavernes ; le boulanger de Byssingen vend des petits pains évoquant ceux qui ont régalé nos marcheurs ; la tourbière, le *Schopflocher Torfmoor*, est aujourd'hui une réserve naturelle classée dont la visite très agréable permet de découvrir la flore et la faune de la région. Un petit opuscule en vente sur place[21] évoque les débuts de l'exploitation de la tourbe en 1784 par M. Glöckler (Klöckler pour Cuvier) ; le château de Grafeneck devint hélas pendant la Seconde Guerre mondiale un centre d'extermination des handicapés mentaux, en dépit des protestations de l'évêque luthérien du Wurtemberg, le Dr Wurm. Ce château profondément remanié est occupé aujourd'hui par un établissement médico-pédagogique ; en revanche, le haras de Marbach est intact et les bâtiments qui abritent 350 chevaux pur-sang sont magnifiquement entretenus[22] ; la grotte du brouillard, « *die Nebelhöhle* », est un lieu touristique très fréquenté[23] ; elle a été aménagée et, depuis la visite de Cuvier, une nouvelle entrée, découverte en 1920,

19. Je dois à l'amabilité de Harald Schukraft, historien du duché de Wurtemberg rencontré lors des cérémonies commémoratives du rattachement du pays de Montbéliard à la France, les précisions sur l'emplacement de l'Université Caroline. Grâce à son ouvrage *Damals über Stuttgart - Innenstadt und Vororte in Luftbildern aus den zwanziger bis vierziger Jahren*, Silberburg-Verlag, 1988 ; de belles photographies donnent dans ce livre des vues des bâtiments de l'établissement fréquenté par Cuvier.

20. Metzger D. s.d. — *Kloster Denkendorf*. Fortbildungsstätte Kloster Denkendorff: 1-18.

21. Dangel H., Maser J., Mattern H., Müller T., Nürk G., Schwenkel H. & Wohnlas W. 1994. — *Schopflocher Torfmoor*. Verlag der Teckbote, Kircheim unter Teck : 1-80.

22. Anonyme 1993. — *Haupt- und Landgestüt Marbach/Lauter*. Lkr Reutlingen, Gestütshöfe : 1-53.

23. Binder H., Bleich K. E. & Dobat K. 1990. — Die Nebelhöhle. *Abh. Karst-u Höhlenkunde*, Reihe A, Heft 4, 7 Aufl. : 1-62.

permet de descendre par 141 marches à vingt-cinq mètres sous terre ; le château de Lichtenstein sur son éperon rocheux est une demeure privée que l'on peut visiter ; l'allure des bâtiments a changé, mais du sommet des tours le point de vue est toujours aussi splendide ; Pfüllingen et ses cascades, Tübingen et son université permettent de compléter cette évocation du voyage de Cuvier et de ses compagnons.

Le récit de Cuvier est très vivant ; il nous aide à mieux connaître la forte personnalité d'un adolescent dont l'œil est vif, les analyses pertinentes et le sens critique très aigu. Le jeune Cuvier ménage plus sa santé fragile que son entourage. C'est l'itinéraire proposé par lui qui est finalement choisi ; c'est encore lui qui se charge de rédiger le compte rendu de voyage et c'est une fonction qu'il appréciera toute sa vie ; il sera quelques mois plus tard précepteur et secrétaire de la famille d'Héricy en Normandie, secrétaire-greffier de la commune de Bec-au-Cauchois pendant la Révolution, secrétaire de la Société d'histoire naturelle de Paris avant d'être élu secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences en 1803. On le découvre passionné, essayant par ses observations et ses remarques de mettre en pratique les enseignements de botanique, de droit administratif et d'économie qui lui furent délivrés à Stuttgart. Cuvier est déjà très sûr de lui et, si ses jambes le trahissent dans la montée du Teckberg, son récit est construit pour souligner la politesse française dont il fait preuve auprès de Mlle Glettin et pour se gausser du peu d'aptitude à la marche... des jeunes citadines françaises ! Le récit révèle incidemment que Cuvier se sent français et réagit en Français.

Dans cette version du récit manque le feuillet n° 12 ; il n'est pas impossible que cette partie du manuscrit ait été supprimée par la famille Cuvier ; en effet, le séjour dans la ville de Münsingen semble avoir été agité ; Cuvier évoque une bacchanale et l'un des dessins, qui se rapporte probablement à cet épisode, représente une altercation entre une femme que Cuvier surnomme Canidie du nom d'une parfumeuse napolitaine, et un groupe de trois personnes dont deux hommes et une femme tandis que nos voyageurs regardent la scène de loin.

Enfin, le texte originel est en allemand (en mauvais allemand écrit Cuvier). Ce texte a été traduit comme l'indique une mention manuscrite par « un petit traducteur peu instruit » dont nous ignorons l'identité. Cette traduction, qui n'était pas une version définitive, a le mérite d'exister ; les expressions et les mots employés datent manifestement du XIXe siècle ; le mot « élève » est employé pour le mot « élevage » qui sera utilisé à partir de 1836. J'ai donc conservé à quelques mots près le texte de cette traduction qui rend bien compte du style, des tournures et de la spontanéité du récit en allemand de Cuvier avec l'aide précieuse de Mme Kneip-Jéquier qui a rectifié plusieurs erreurs et bon nombre d'inexactitudes. J'ai donné une brève présentation orale relative à ce voyage de Cuvier devant les membres du Comité français d'histoire de la géologie (COFRHIGEO) le 21 juin 1995 et intitulée : *Les premiers pas d'un naturaliste sur les sentiers du Wurtemberg : récit inédit d'un jeune étudiant nommé Georges Cuvier*, avec un résumé publié dans le bulletin de ce comité (troisième série, t. IX, 1995, n° 5 : 87-88).

Voyage dans les Alpes souabes rédigé par G. L. Cuvier alors Chevalier de l'Ordre académique

Reise auf die Wurtembergische Alb

Zu Schrift an Herrn Baron Marschall von Biberstein, Ritter des kleinen Ordens der herzoglichen Carlshohenschule, zu Stuttgardt.
[Récit autographe et en langue allemande d'un petit voyage fait par mon oncle en Wurtemberg du 20 au 28 avril 1788 (il manque le feuillet 12).]

Lettre à Monsieur le Baron Marschall de Biberstein, chevalier de l'ordre mineur de l'Université ducale de Charles à Stuttgart.

(Ms 3312. Petites feuilles écrites recto verso, sans paragraphes, dimensions : 180 à 200 mm de haut pour 110 à 120 mm de large ; feuilles doubles ou simples. En tout trente-cinq folios : voir inventaire des feuillets en annexe).

Très cher ami,

Vous avez ici la description de notre voyage dans les Alpes souabes. Elle ne me parut pas fort intéressante et bien pauvre en faits remarquables. Votre jugement a été prononcé d'après cela. Elle n'aurait jamais dû quitter mon portefeuille, ni l'obscurité qui lui convenait si bien. Mais c'est vorre désir et je ne saurais rien refuser à l'amitié. Heureux seulement, si je pouvais vous offrir quelque chose qui fût à la mesure de vos talents et qui satisfît aux sentiments avec lesquels je resterai pour la vie.

Votre très chaleureux ami et serviteur
G. L. Cuvier

Caen le 2 octobre 1788

VOYAGE DE HUIT JOURS À PIED À TRAVERS LES ALPES SOUABES PAR QUELQUES ÉLÈVES DE LA FACULTÉ COMMENCÉ LE 21 AVRIL 1788 ET ÉCRIT PAR G. L. CUVIER ALORS CHEVALIER DE L'ORDRE ACADÉMIQUE MINEUR

Il n'y a qu'une manière de voyager, dit quelque part J.-J. Rousseau, qui soit plus agréable que le voyage à cheval : c'est le voyage à pied[24] ; et Rousseau était bien au fait de l'un et de l'autre, on le voit par tous ses écrits. Trois élèves de la faculté de Stuttgart firent dans l'hiver de 1787 à 1788 le projet de parcourir de cette façon une partie du Wurtemberg et de profiter pour cela des vacances de Pâques (M. Ihm de Hanau, M. le chevalier baron de Marschall de Wallerstein et moi), tous trois étaient jeunes, tous trois avaient passé plusieurs années à l'Université Caroline et observé strictement la discipline de cet établissement, tous trois enfin s'étaient toujours consacrés avec tout le zèle qu'une forte inclination peut produire à l'étude de l'histoire naturelle, de l'économie et des sciences qui s'y rattachent ; ils devaient donc tous trois avoir le plus grand désir d'observer correctement la nature, de jouir de ses beautés à grande échelle. Cette envie avait été nécessairement accrue par... [manquent quelques mots]. M. Ihm et moi, nous avions encore un autre motif à ce projet, nous étions étrangers, nos études étaient achevées, et il nous fallait quitter le Wurtemberg sans avoir l'espérance d'y remettre jamais le pied. Cependant cette contrée, peut-être la plus belle de l'Allemagne, méritait bien d'être connue de nous exactement, et après le séjour de quatre ans que nous y fîmes c'eût été une honte de ne pas en savoir davantage que ce que tout le monde peut lire dans Büsching[25]. Donc pour satisfaire à tous ces désirs nous résolûmes le 21 avril d'entreprendre un voyage à pied jusqu'aux Alpes, de gagner Münsingen en passant par Nürtingen, Kirchheim, Teck, en conséquence de compléter le cercle en passant par Pfüllingen et Tübingen et de regagner notre premier point Stuttgart. Nous eûmes aussi le bonheur de gagner à la même résolution l'excellent gentilhomme et professeur de M. de Marschall et nous nous préparâmes de notre mieux à la réalisation de ce que nous nous proposions.
C'est donc ce voyage que, d'après ma promesse, je vais décrire. Un autre s'en fût peut-être acquitté mieux, mais certainement il n'y eût pas mis plus de zèle. Je ferai tout ce que mes forces me permettent, il n'y a qu'une chose qu'il me faut demander à mes lecteurs, c'est de me pardonner les incorrections qui pourront se rencontrer au sujet du langage : né en France, j'y ai été élevé jusqu'à l'âge de 14 ans ; ce n'est qu'à cet âge que j'ai appris la langue allemande et cela en Souabe où, comme l'on sait, l'on ne parle pas une langue très pure. En conséquence, il n'y a pas trop à m'en vouloir si je n'écris pas l'allemand dans la perfection.

D'abord, parlons des préparatifs. Qu'on se figure trois jeunes gens qui viennent de faire de plaisants projets : à l'instant, tout est en mouvement ; il faut sur le champ savoir tout ce qui peut arriver en route. Quelles localités irons-nous voir ? Irons-nous à la Forêt-Noire, dans les Alpes ou dans le bas pays ? Où pourrons-nous nous procurer des lettres de recommandation ? Vite une carte routière ; une pauvre carte du pays tombe entre nos mains ; elle est bientôt déchirée sur les divers chemins que nous voulions même y dessiner ; l'un aurait bien voulu voir des salines et des mines ; aussitôt il court à Sulz, Alperspach, jusqu'en Furstemberg et plus loin encore ; en sept étapes il veut parcourir 60 lieues de chemin et avoir tout bien examiné. Un autre féru d'entomologie, veut bondir et de droite et de gauche à la poursuite des insectes ; pas une mouche, pas un scarabée ne doit échapper à sa pointe meurtrière ; naturellement il veut marcher plus lentement ; cependant afin qu'on puisse quand même aller un peu loin, il veut aussi de temps à autre user du cheval. Moi, à qui la faiblesse de mes membres ne permet pas une grande agitation, je m'efforce en vain de modérer leur ardeur. Le contraste ne fait que rendre le tout plus risible. Moi aussi j'ai mes propres idées. Les longues heures de cheval ne sont pas très adaptées à ma peau, qui déjà sans cela est percée par mes os. D'un autre côté j'aimerais examiner bien ce que je verrai ; aussi proposai-je une route un peu plus courte. Au début personne ne veut entendre et par malheur toutes les fois que nous nous réunissons à trois autour de la carte du Wurtemberg de Tobmayer, chaque fois nos débats recommencent. Cependant après bien des

24. « Pour moi qui me plaisois presque autant à cheval qu'à pied, je n'aurois pas mieux demandé que de voyager ainsi toute ma vie. » (Rousseau 1987).
Rousseau J.-J. 1987. — *Œuvres complètes. I Les Confessions.* La Pléiade, Gallimard, Paris : 156.

25. Büsching Anton Friedrich ; auteur d'une géographie universelle en quatorze tomes (1767-1769).

étapes, on donne à mon projet la sanction légale et le point est arrêté, nous allons dans les Alpes souabes.
Le choix des habits, on le laissa à la discrétion de chacun : ils devaient être chauds, commodes et légers ; quant à ce qui est arrivé à chacun, surtout à l'égard des bottes, nous le verrons plus bas. On nomme un secrétaire du voyage, moi, et de fait au moment même où j'écris ceci, je m'acquitte de mes fonctions. Un grand livre blanc qui doit en même temps servir de presse pour les plantes et un crayon effaçable (de mine de plomb) composent tout mon attirail ; Monsieur le Professeur du Chevalier Marschall est trésorier du voyage. Les devoirs et les exigences auxquelles il aura à satisfaire restent au choix de chacun. Aux frais de la communauté on remplit quelques flacons d'eau dissolvante, d'huile de vitriol, de sirop de violette, d'esprit de salmiack et de noix de galle dissoute[26]. On les fourre dans des étuis de carton et elles constituent la pharmacie de voyage à laquelle M. Ihm est préposé avec le titre de chimiste du voyage. Enfin M. le chevalier de Marschall promet de s'occuper de la capture des insectes. Comme les épingles qui y sont nécessaires ne l'embarrassent pas beaucoup, il se charge aussi du transport du Linné.

Note infrapaginale de Cuvier : *Car. a Linne Systema vegetabilium; edit XIV cura And. Murray.* Les insectes peuvent aussi être examinés secs, mais les plantes non. C'est pour cela que ce livre était nécessaire.

Nous avions aussi avec nous quelques lettres de recommandation à différentes personnes, et ici je dois, au nom de ma société, adresser les remerciements les plus vifs à tous les fonctionnaires, employés et autres personnes auxquelles nous nous sommes adressés. Partout on nous a accueillis avec une extrême amitié, tous les concours nous ont été prêtés. Nous ne pourrions pas mieux nous louer de l'hospitalité wurtembergeoise qu'en racontant ce qu'ont éprouvé quatre étrangers desquels il n'y avait pas à attendre de retour. Cette honnête nation est bien digne du bonheur que son excellente constitution lui assure.

Maintenant à notre sujet.
Le 21 avril nous fûmes, comme on peut facilement le supposer, tous de très bonne heure sur pied. En général, le premier jour des vacances est pour la faculté le jour du tumulte le plus grand ; chacun fait tout pour se dégager au plus tôt de ses liens et craint de différer sa liberté ne serait-ce que d'un moment. Nous avions en plus des motifs particuliers. Notre imagination déjà en voyage nous avait tôt réveillés, ou plutôt ne nous avait pas permis de dormir. À peine nous fut-il possible d'accueillir la politesse de M. le colonel W. de Wolf qui nous invita au chocolat, parce qu'il différait notre départ d'une demi-heure. Une pareille impatience enfantine s'explique pour nous par une captivité de quatre années. Enfin nous partîmes.
À sept heures, montés sur le Bopser, nous abaissâmes encore nos regards sur le nuage de brouillard qui enveloppait Stuttgart et nous en prîmes congé pour la dernière fois.
On sait que le Bopser, pour ainsi dire le derniet échelon du haut pays, est la montée par laquelle on arrive au second étage du Wurtemberg, ce qu'on appelle les Fildern (les champs) ; car les Fildern sont à proprement parler la contrée qui s'étend entre les Alpes et la Forêt-Noire. C'est du côté de Stuttgart une vallée très large, mais qui, vers le sud où les deux montagnes se rapprochent fort, devient beaucoup plus étroite. Cette vallée singulière est considérablement plus élevée que le reste du duché et elle est elle-même traversée par plusieurs vallées plus profondes en comparaison desquelles elle devient une montagne. La vallée du Neckar, en particulier, en occupe tout le milieu et est presque de niveau avec le bas pays avec lequel elle communique. La vallée du Neckar envoie, de part et d'autre, plusieurs vallées moindres, lesquelles coupent les Fildern dans plusieurs directions. Les Fildern eux-mêmes envoient aussi un très grand nombre de vallées dans les hauteurs de la Forêt-Noire et de l'Alpe, et c'est de cette façon que le Wurtemberg tout entier est excellemment fourni d'eau ; car chaque vallée a aussi ses petits cours d'eau. Les sommets des montagnes sortent isolément des vapeurs qui s'élèvent dans l'air, vapeurs qui forment ces petits cours d'eau, de sorte qu'il n'y a aucun endroit pour la circulation des cours d'eau qui ne soit mieux entretenu qu'ici. Il n'y a que dans quelques régions des Alpes souabes qu'on manque d'eau et cela vient sans doute de la configuration de ces montagnes. En s'élevant, c'est, comme nous le verrons ci-après, un plateau, ce qui n'est propre ni à attirer les nuages, ni à former des cours d'eau, puisque pour cela des hauteurs et des vallées sont nécessaires.
Mais pour en revenir au Bopser, dont je me suis au fait un peu éloigné, je remarquerai ici que c'est proprement une hauteur formée par les eaux ; c'est ce que constatera quiconque a fait des promenades autour de Stuttgart : les bandes vertes, noires et rouges qui embellissent cette montagne en témoignent clairement, il est de nature assez sablonneuse ; on trouve même à quelques endroits des grès assez durs. Cela me semble particulièrement remarquable, car le Rothberg qui, du côté droit de la vallée du Neckar, correspond au Bopser, se compose, comme le sait tout Wurtembergeois, de couches de gypse et l'on en extrait du gypse et de l'albâtre.
Cela prouve clairement que la vallée du Neckar n'est pas une séparation primitive de ces montagnes ; et la

26. L'huile de vitriol est l'acide sulfurique, le salmiac est le nom marchand du sel d'ammoniac ; la noix de galle est une excroissance globuleuse produite sur un chêne par la piqûre d'un insecte ; sa richesse en tanin permet de l'utiliser en médecine comme astringent.

FIG. 4. — L'affaire des bottes de M. Ihm. En citation : *Direptis stat crura cothurnis* [Il est debout, aux jambes les cothurnes déchirés] (Virgile, *Géorgiques*, livre II, vers 8). Il s'agit du prologue du livre II (et non I), qui est une invocation à Bacchus. Ce cothurne (différent du cothurne tragique) est une chaussure montante, que porte en particulier Bacchus sur les monuments. *Stat* est un mot ajouté par Cuvier ; il n'est pas dans Virgile ; nous ne voyons pas quel autre verbe restituer. Dessin au crayon de Georges Cuvier (150 × 110 mm). © Bibliothèque de l'Institut de France.

raison de leur différence, vient à mon avis, de la nature diverse des hauteurs plus élevées contre lesquelles sont rangées ces hauteurs inférieures. Sur le côté droit par exemple, vers l'est, est située l'Alpe ; elle est toute calcaire et à son pied est le Rothberg gypseux et la colline qui s'y rattache, contre laquelle à l'ouest au contraire est la Forêt-Noire où les hauteurs principales sont certainement des hauteurs de soulèvement, et se composent pour la plupart de granites. Au pied de celui-ci, il a bien pu se ramasser plusieurs couches de sable que les eaux ont dû constamment entraîner avec elles et de la sorte peut-être, après des milliers d'années, ont pu se former les Fildern, tout comme dans leur voisinage se sont formés le Rossberg et ses frères. Leur nature témoigne de leur origine.

Ce système me paraît hautement vraisemblable, mais comme système il est impossible qu'il explique tout et l'on aurait besoin encore de beaucoup d'observations pour pouvoir le démontrer complètement. Le professeur Rösler, dans son histoire naturelle du Wurtemberg a bien quelque chose là-dessus. Le lecteur ne m'en voudra pas, je l'espère, de cette digression, elle tend à mon but. Poursuivons maintenant.

Par très beau temps, dans une remarquable fraîcheur la plus délicieuse nous entrâmes dans le bois par un chemin qui devait nous mener à Ruyd[27]. D'abord apparurent des sapins ; puis vinrent une quantité de bouleaux avec leurs branches pittoresquement pendantes. Le sentiment de solitude n'était pas encore troublé par le chant d'un grand nombre d'oiseaux ; le triste coucou se faisait seul entendre, mais le soleil ne tarda pas à s'élever, le brouillard léger qui rend si belles les matinées de printemps devint bientôt imperceptible, les petits flocons de vapeur se dispersèrent et peu à peu il fit très chaud. Alors toutes les petites créatures s'animèrent : les alouettes surtout nous récréèrent par leurs agréables concerts aussi bien que par leur vol singulier. Quelques perdrix également jouaient dans les champs tout juste verdoyants.
La première figure humaine que nous vîmes nous annonça un malheur ; mais un petit : distraits par les beautés ci-dessus décrites, nous avions, à un embranchement de chemins, pris précisément la mauvaise voie et nous serions allés à Höhenheim, si une femme qui vint à notre rencontre en tricotant ne nous eut indiqué notre erreur.
À droite quelques chênes devaient représenter un bois ; derrière étaient quelques vallées dans lesquelles nous pouvions voir surtout la vallée du Neckar, qui nous montrait son château Wirtemberg. À gauche était un bois de bouleaux ; un quart de lieue plus loin on commençait à descendre un peu la côte, et là apparurent en face des montagnes très éloignées que nous prîmes pour l'Alpe et pour le Teckberg. Le sol qui jusqu'ici avait été plus sablonneux, commença dès lors à contenir un peu plus d'argile, mais nulle part il ne faisait d'effervescence avec des acides. À un endroit il était tout couvert de lichen *Ericetorum*, cette jolie mousse a presque la physionomie d'une éponge et quelques auteurs l'ont rangée parmi les champignons, nommément Dillenius[28] qui en fait une coralloïde ; mais probablement sa texture ligneuse a probablement porté Linné, et d'après son avis ses innombrables imitateurs, à la ranger dans la famille déjà bien assez chargée sans cela, des lichens. Il y en avait là trois très grands ; les tubercules avaient presque la grosseur d'un pois ; leur couleur de chair claire était du plus bel effet.
À la sortie du bois s'ouvrit un horizon très étendu de tous côtés enfermé dans des montagnes lointaines. À droite et à gauche de notre chemin étaient des champs avec quelques villages, comme par exemple, Rosacker, Hennaden, Kemnath. Nous remarquâmes quelques insectes : *Papilio urticae*, par exemple, voltigeait à l'entour ; plusieurs scarabées se remuaient dans leurs habitations immondes, mais les Carabi, déjà à cette époque si communs dans le bas, dans la vallée du Neckar, étaient ici excessivement rares. Ils aiment trop les coins argileux humides, pour aller chercher à se loger là-haut dans le sable. Cependant un gros échantillon du *Carabus piceus* se montra ici, mais aussi ce fut le seul. Comme je n'ai encore rien de meilleur à dire, je signalerai aussi les herbes que nous rencontrâmes. Il y en avait peu ; la saison ne leur permettait pas encore de paraître. *Bellis perennis*[29] qui n'a souci de la température pullulait partout ; la Draba hâtive[30] était aussi à quelques endroits. *Leontoton taraxacon*[31] encore tout petit semblait ne montrer que son nez. Enfin *Veronica triphyllos*[32] rendait quelques champs tout bleus, lesquels sans doute se seraient passés de cette beauté aussi bien que de l'*Equisetio arvensis*[33] qui les couvrait également.
Ainsi nous allâmes jusqu'à Ruid où nous prîmes du lait. C'est une paroisse dans les Fildern. Les gens nous parurent à leur aise, ils étaient très accueillants. Leurs maisons sont assez joliment bâties et décorées d'inscriptions pieuses, mais les rues et les pièces sont relativement malpropres.

27. Aujourd'hui Ruit.

28. Dillenius Jean Jacques, botaniste allemand, né à Darmstadt en 1687, mort en 1747. Il apporta une attention extrême à la distinction des genres au moyen de la fleur et du fruit et fut appelé par Sherard à l'Université d'Oxford. Il a publié deux ouvrages remarquables : *Hortus elthamensis* (1732) et *Histoire des mousses* (1741). (*in Biographie universelle Michaud*. Nouvelle édition 1855. Tome XI : 60-62.)

29. La pâquerette.

30. La drave printannière, *Draba verna* L. est une crucifère.

31. *Taraxacum Dens-Leonis* L., le pissenlit.

32. *Veronica triphylios* L., la véronique à trois lobes.

33. *Equisetum arvense* L., la prêle des champs.

M. Ihm avait des bottes trop étroites ; il alla chez le cordonnier (Fig. 4) pour voir s'il n'y avait pas moyen de corriger cela et nous le suivîmes pour tirer de cet homme quelques renseignements sur son village. Un barbier, il est vrai, eût mieux valu pour cela ; car notre homme, qui n'était pas du tout enclin à causer, se faisait arracher les réponses. Cependant nous extirpâmes que le pasteur avait un revenu d'environ 1000 fl.[34], avec une fille ; que les habitants, la plupart maçons et charpentiers travaillaient à Höhenheim et Stuttgart, et qu'il y avait dans l'endroit aussi quelques tisserands. Nous vîmes chez lui un joli poêle Gachel ; ces poêles sont très bon marché (le sien ne coûtait que 5 fl.), assez propres, car on pourrait encore en embellir la forme et ils durent longtemps, car s'il en saute un seul morceau, on peut le remettre en place. Ils se fabriquent à la poterie de Neuhausen.

Cependant les bottes paraissaient raccommodées, nous prenons congé de cet homme ; mais à peine avions nous fait cent pas, que le mal revient de plus belle et que les douleurs recommencent. Qu'y a-t-il donc à faire ? Mon Dieu, il ne faut pas pourtant que les bottes nous retiennent. Nous essayons de changer de bottes ; presque toutes les combinaisons se font, en vain ; que ce soit l'un ou l'autre, quelqu'un doit en souffrir. Pendant que l'affaire est en suspens, nous entamons un colloque très approfondi sur l'importance des bottes dans le voyage à pied ; si seulement il y avait eu là un artiste en chaussures pour utiliser notre théorie : en pure perte ; les bottes restèrent trop étroites aussi bien après qu'avant ; bref nous finîmes par nous en aller et nous approchâmes du village de Nellingen.

Il serait trop ennuyeux de raconter ici tous les changements successifs de bois, prairies, champs, etc. ; mais ce qui est plus important, c'est que nous avions toujours en face les hauteurs de l'Alpe. Elles nous offraient distinctement leur superficie toute unie où se distinguaient un petit nombre seulement de pointes plus élevées. Nellingen n'est pas si joliment bâtie que Ruid ; il doit y avoir là environ 130 habitants ; ils vivent de l'agriculture, mais il y a aussi dans le nombre quelques artisans. En avant du village, c'est tout champs cultivés, et route très ennuyeuse. Par ci par là dans les fossés fleurissaient *Juncus glomeratus* et *effusus*[35] ; la *Cardamine pratensis*[36].

Nous soupirions déjà pour ainsi dire à découvrir quelque point de vue, lorsqu'apparut tout d'un coup Denkendorf dans le creux. La belle et verte vallée, le joli petit cours d'eau, la situation romantique du château, son architecture quelque peu ancienne et par dessus tout le désert que nous venions de traverser, tout contribuait à représenter le paysage pour nous comme tout à fait excellent. La plupart des couvents réunissent tous les traits d'une belle situation. Les moines ont bien renoncé à la société; mais non pas au monde, du moins ont-ils cherché toujours par la beauté de leur résidence à se dédommager des plaisirs qu'ils ont quittés. Le couvent de Denkendorf est sur une petite hauteur et se compose de plusieurs bâtiments communiquant l'un avec l'autre et qui ne paraissent pas dater tous de la même période. Près du couvent se trouve un lac artificiel dont l'eau coule dans un bassin inférieur situé au bas de la montagne ; la superstition catholique leur a tendu en bien des saisons le poisson nécessaire ; il leur fallait avoir des viviers constamment remplis. L'église du couvent n'a pas de beauté particulière ; on y trouve plusieurs tombes d'anciens prieurs dont les images sont assez mal sculptées ; la plupart n'ont plus de nez : les caractères gothiques autour de leurs tombes ne peuvent se lire qu'avec peine et n'ont pas assez d'intérêt pour mériter cette peine. Nous visitâmes aussi l'endroit où se tiennent les collèges, les chambres des élèves ; c'étaient autrefois les cellules des moines. Nous demandâmes aussi des nouvelles d'un de nos camarades qui a jadis étudié à Denkendorf ; chacun reconnaîtra bien qu'il s'agit de N. De vrai, le témoignage à son égard ne fut pas très bon ; il avait joué bien trop de tours plaisants et sans une puissante protection il aurait été souvent châtié.

Nous venions de Stuttgart, nous avions vu tout ce qui vient d'être raconté, et cependant nous n'avions pas encore dîné. Pensez si l'estomac était vide ; notre première affaire fut donc de nous hâter vers l'auberge ; en route nous trouvâmes les apprêts d'une foire qui devait se tenir le jour suivant ; elle est très peu considérable, tout comme le village qui contient à peine 180 habitants. À « Lamm[37] » nous mangeâmes avec le plus grand appétit notre dîner, tandis que M. Ihm faisait venir l'un après l'autre tous les cordonniers de l'endroit et se mettait en relation avec eux au sujet de ses bottes ; enfin comme il pouvait à peine faire un pas, il se résolut à aller à cheval et en loua un à un homme qui devait l'aller quérir à Nürtingen. M. l'hôte de Lamm et Mme l'hôtesse de Lamm nous honorèrent de leur haute présence. Ils nous entretinrent entre autres choses de leur généalogie et nous apprîmes avec étonnement que l'hôtesse était la sœur de notre grand professeur Moll[38]. Il vient quelquefois les voir et, de là, se rend dans les endroits avoisinants ; ainsi un jour à Kongen, il se fit passer pour un notaire impérial d'Esslingen. Nous tîmes fort de cette fantaisie, nous payâmes et nous partîmes. Il faut avouer que l'hôtesse voulait tirer profit de sa parenté ; elle deman-

34. fl. ; florins ; le Rheinische Gulden ou florin utilisé dans le Wurtemberg valait, après 1750, 2,5 livres françaises.

35. *Juncus conglomeratus* L., jonc employé pour faire des liens et *J. effusus* L., jonc épars.

36. La cardamine des prés.

37. Probablement le nom de l'hôtellerie, *Lamm* (l'agneau).

38. Le professeur Moll enseignait la physique à l'Université Caroline (Uhland 1969 : 9).
Uhland R. 1969. — Georges Cuvier, *in Cuvier und Württemberg*. Schwäbische Druckerei, Stuttgart.

dait trois fois plus cher que de raison.
Au départ, le chemin de Denkendorf à Kongen n'est pas très beau ; il traverse une bruyère peu fertile ; çà et là fleurissaient quelques buissons de prunelliers (*Prunus spinosus*). Nous trouvâmes aussi quelques petites carrières de grès jaune. Nous montâmes de la sorte quelque temps encore, lorsque tout d'un coup la plus somptueuse de toutes les perspectives s'ouvrit à nos yeux. Nous avions en effet traversé une partie des Fildern et nous traversâmes de nouveau la vallée du Neckar. Les montagnes que le matin nous voyions dans le bleu lointain, s'étaient rapprochées ; déjà on y distinguait ce qui était bois et champs cultivés. De vertes collines s'étalaient à leur pied et, devant ces collines, dans la vallée s'étiraient plus de vingt villages sur les bords du Neckar. À droite, Neuffen s'élevait fièrement au-dessus de la surface unie des montagnes voisines ; à gauche, au premier plan était le village de Kongen avec ses maisons blanches. Un ciel magnifique, le soleil complètement libre de nuages, embellissaient encore le tout. Pleins de ravissement, nous restâmes immobiles en contemplation. Je ne peux pas mieux décrire la beauté de cette perspective ; à Kongen nous prîmes du vinaigre avec de l'eau. C'est là que je vis des anguillules du vinaigre d'au moins 1". Puis nous voulions voir également les restes du camp romain qui se trouvait en cet endroit, dit-on ; ces restes se composent de plusieurs cellules quadrangulaires enterrées de trois pieds environ dans le sol ; leurs murs sont bâtis très solidement en petites pierres à la manière romaine. Sur un ou deux côtés se trouvent quelques petites niches voûtées qui sans doute servaient de casiers ; quelques-unes de ces niches sont quadrangulaires et sont formées de quatre pierres taillées de biais, de telle sorte que le côté de derrière est beaucoup plus étroit que le côté de devant. Les cellules sont rangées en lignes droites, et le camp tout entier est dans le champ sur la hauteur, de sorte qu'il commande toute la vallée. J'ai dessiné une cellule.
Nous quittâmes le camp et descendîmes dans la vallée ; cet endroit est très semblable à la contrée située entre Berg et Gabelberg ; nous traversâmes le village important d'Oberenzingen en passant par des champs jusque face à Oberboihingen où nous trouvâmes un moulin ; il avait trois roues ; toutes trois dans un seul courant d'eau étaient d'une forme particulière ; les planches sont très longues, mais les leviers très courts, de sorte que la force de l'eau gagne à la largeur des unes ce qu'elle perd à l'étroitesse des autres. En cet endroit on passe le Neckar sur un batardeau de 140 pas de longueur qui est si étroit et si faible qu'il oscille sous les pieds ; ceci conduit dans une belle et large prairie bordée de collines avec quelques parcelles de vignobles ; ce sont bien les dernières de ce côté.
Nous suivons un sentier qui est assez parallèle au Neckar et nous arrivons sur une petite éminence offrant encore une belle perspective, mais d'une beauté différente ; à gauche se trouve maintenant Neuffen avec la série des montagnes qui s'y rattachent ; en cet instant elles sont toutes dorées sous le soleil couchant ; à droite est la ville de Nüttingen, notre lieu de halte pour aujourdhui. Cela nous fait oublier à tous notre peine et nous nous hâtons d'y arriver.
Nürtingen est une très jolie petite ville ; nous arrivons du côté de l'hôpital qui est un bâtiment important et qui fait fort bon effet ; il y a aussi autour de la ville de belles avenues de tilleuls ; la porte est peinte de fresques avec goût ; les rues sont larges, droites et bien pavées ; il est seulement dommage qu'elles soient si inégales.
Après avoir déposé notre petit bagage à l'auberge, nous allâmes au bureau du grand bailli, où le jeune H. Bülfinger avait déjà annoncé notre arrivée. Se trouvaient là deux élèves de la faculté : le bon chevalier Dertinger qui se pavanait avec les marques d'honneur[39] qu'il avait obtenues la veille et M. le comte de Coronini. Toute la maison nous accueillit avec beaucoup de civilité ; on nous conduisit dans le verger sur un bras du Neckar et ensuite nous visitâmes les moulins qui sont sur le fleuve. Ils appartiennent tous à la ville qui en tire un revenu assez considérable ; un très long batardeau sur le Neckar a besoin d'être entretenu constamment pour leur procurer l'eau qui est nécessaire. Le moulin à farine se distingue entre autres par son caractère nouveau et sa dimension ; il a huit meules, toutes dans un excellent état ; cependant ce remarquable ouvrage n'avait presque pas fonctionné depuis trois mois à cause de la rude concurrence des autres moulins. Le pauvre meunier se plaignait fort, car il faut qu'il donne aussi à la ville un fermage de trente-cinq simris[40] de grain par semaine. Il y a aussi un moulin à scier le marbre qui allège fort ce rude labeur ; il consiste en une scie qui est maintenue dans un mouvement horizontal constant au moyen d'une roue à dents Un mécanicien connu chez nous, Michel, a construit ce moulin.
À notre retour, M. le grand bailli nous entretint de l'hôpital impérial de Nürtingen ; il est soumis à la juridiction wurtembergeoise, mais c'est un fief immédiat de l'empire. L'administration en appartient aux magistrats de Nüttingen sous la présidence du grand bailli. En ce qui concerne les affaires ordinaires, ils n'ont à rendre compte absolument à personne ; mais quand ils veulent se procurer des avantages, par exemple des augmentations de traitement, il faut que le conseil privé du duché en prenne connaissance et en juge. Chaque année il passe par les mains des administrateurs environ 60 000 fl. sans les avantages en nature : et ils bénéficient outre cela de tous les droits considérables de l'hôpital, avec par exemple,

39. Les marques d'honneur étaient les cicatrices que les étudiants avaient sur le visage, le nez et les oreilles à la suite de duels au sabre.

40. Simri : mesure de capacité usitée dans le Würtemberg, et valant 22,61 litres.

FIG. 5. — La promenade sur le Teckberg. En citation : ... *altos ventum in montes atque invia lustra* [... on parvint à de hautes montagnes et à des escarpements inaccessibles] (Virgile, *Énéide*, livre IV, vers 151). Dessin au crayon de Georges Cuvier (180 × 110 mm). © Bibliothèque de l'Institut de France.

l'exercice du patronage sur plusieurs villages.
Une fondation de cette richesse est excessivement utile aux pauvres de la contrée ; elle leur dispense des secours de toute espèce. Si le désordre se mettait dans les finances de la ville, l'hôpital pourrait aussi y suppléer un peu de ses revenus.
À la maison, Dettinger, l'éternel musicien avait monté un concert ; quelques violons, une flûte et un clavier en faisaient le fond ; Mme la conseillère aulique chanta ; assurément elle n'est plus toute jeune ; sa voix non plus. Un bon souper fut la conclusion de tout. Toute la maison nous accompagna à notre hôtel et maintenant je puis dire, il y eut un matin, il y eut un soir, ce fut le premier jour.
Le second jour de notre voyage était destiné à la visite du Teckberg. Mme la conseillère aulique avait aussi depuis longtemps le projet d'y faire une promenade avec Sa Grâce, Mlle de Bernardin ; elle voulut donc profiter de l'occasion et y aller avec nous. On annonça la nouvelle la veille aussi bien à Sa Grâce qu'au bailli de Dettingen, village en contre-bas de la montagne, et tout fut préparé pour l'excursion. Avant le départ cependant, nous voulûmes voir quelques curiosités de Nürtingen. On nous conduisit dans le jardin de l'intendant de l'hôpital situé sur une éminence à peu près à un quart de lieue de la ville et d'où il y a la plus belle de toutes les vues. Ensuite nous visitâmes l'hôpital ; ce bâtiment est très considérable, tout neuf, et peint de fresques du plus bel effet ; il ne sert pas comme la plupart des hôpitaux à l'habitation des pauvres, mais seulement aux assemblées des administrateurs, assemblées auxquelles une très grande salle est destinée ; il sert aussi à la levée des impôts en nature et à l'habitation des fonctionnaires et employés. La cave est très profonde, creusée dans le roc, et elle contient quelques tonnes qui sont très grandes ; l'une d'elle avait quatorze pieds de diamètre et contenait quatre-vingt dix seaux. On nous fit goûter aussi un fort bon vin et l'on nous montra une bibliothèque commencée depuis quelque temps par le maître de l'hôpital pour la commodité de l'administration. Elle est installée de façon pratique et renferme majoritairement des livres d'histoire et d'économie.
On nous avait vanté le cabinet de l'apothicaire Clemms ; nous voulions donc ne pas quitter Nürtingen sans l'avoir visité. Mais cette collection ne méritait pas tous les éloges qu'on lui avait donnés ; il y a dans le nombre quelques jolies pièces, mais tout est très incomplet. La figure même du propriétaire de la collection est peut-être ce qu'il y a de plus remarquable. Qu'on se représente un petit bout d'homme de quatre pieds environ dont la tête est excessivement grosse et surmontée en plus d'une perruque démesurée, et l'on aura le portrait de l'apothicaire Clemms à peu près dans la tête. Malgré sa stature de Lapon[41], ce monsieur fut excessivement poli pour nous et il fit preuve de beaucoup d'esprit dans ses discours et montra de multiples connaissances.
Cependant Leurs Grâces étaient arrivées au grand baillage dans leur voiture, et on avait préparé un repas que l'on a coutume, à cause de sa nature amphibie[42], de nommer *déjeuner dînatoire*[43]. Chacun devait en conséquence se rendre comme il le pourrait, au lieu du rendez-vous commun, Dettingen ; les dames dans une chaise, quelques messieurs à cheval et nous les quatre pélerins, à pied ; mais une destinée fort cruelle nous attendait, M. le professeur de Marschall que sa bravoure n'avait jamais abandonné même dans le voyage à pied s'était, pendant le repas, laissé aller à toutes sortes de propos et entre autres choses, il avait parié avec les dames que nous arriverions à pied à Dettingen plus tôt qu'elles avec leur voiture.
Comme quatre démons nous franchîmes mont, vallée, prairie, bois sous la conduite d'un paysan de Nürtingen ; mais que le lecteur me dispense de la peine de décrire notre route ; je n'ai rien vu, rien senti, à peine même mes pieds, mais ce que je sais c'est que nous nous trouvâmes au grand baillage du village de Dettingen, Schlossberg, *huit* minutes plus tôt que la voiture, à notre très grand étonnement aussi bien qu'à la surprise extrême de Sa Grâce et de Mme la conseillère aulique. Là donc se trouvait, comme il nous l'avait promis, notre grand conseiller Duttenhofer[44], qui est neveu du bailli et qui se préparait avec ses deux cousines, filles du bailli, à gravir la montagne avec nous. Quelques instants après arrivèrent encore trois cavaliers, M. le conseiller de commerce Klöckler de Kircheim duquel il ne tardera pas à être question, l'élève de la faculté Knisel et son frère ; ils résolurent d'être aussi de la partie.
L'on voit de tout cela que la société n'était pas petite : la quantité des personnes, la voiture, les chevaux en assez grand nombre, tout donnait à l'affaire un aspect solennel, et comme justement le duc[45] était à Kircheim, les paysans des environs crurent en conséquence que celui-ci allait faire une visite à la montagne.
Nous nous mîmes à grimper comme nous pouvions (Figs 5, 11), et ici je dois sincèrement et en présence de tous, rendre hommage à la plus solide et la plus alerte de toutes les jeunes personnes, Mlle Louise Glettin, fille de M. le bailli de Dettingen ; un tribut

41. Cuvier a sans doute lu dans l'*Histoire naturelle* de Buffon au chapitre *Variétés dans l'espèce humaine* : « On trouve en Laponie et sur les côtes septentrionales de la Tartarie une race d'hommes de petite stature, d'une figure bizarre, dont la physionomie est aussi sauvage que les mœurs. Ces hommes qui paraissent avoir dégénéré de l'espèce humaine, ne laissent pas que d'être assez nombreux et d'occuper de vastes contrées ; les lapons danois, suédois, moscovites... »

42. À double usage.

43. En français dans le texte de Cuvier.

44. Mag., sens doute magistrat.

45. Le duc de Wurtemberg.

de louanges lui est dû, je le rends. La politesse française m'avait engagé à offrir mon bras et je me flattais d'être le guide juqu'au Teckberg d'une si jolie demoiselle... faible jeune homme ! C'est elle qui m'y a fait monter. De fait, pas un homme n'eût peut-être mis plus de légèreté et de force à faire face à toutes les occurrences possibles que ne le firent cette noble dame et sa sœur ; et cela sans qu'il se manifestât ni dans leurs traits ni dans leur tenue la moindre trace d'une impression fâcheuse. Que cela vous donne à réfléchir, jeunes demoiselles de nos villes[46] !

Nous gravîmes donc la montagne ; j'espère que de tout mon bavardage précédent on aura tiré cette conclusion : le Teckberg est l'un des points extrêmes de l'Alpe ; son pied s'enracine dans plusieurs collines assises l'une sur l'autre et ne porte que du gazon ; et il est vrai un assez pitoyable gazon, pour autant que je puisse en juger alors : la belle *Gentiana verna*, très fréquente y fleurissait, alors que celle-ci pousse en général au pied de toute la chaîne des Alpes. En quelques endroits le sol devenait très marécageux. Quand on a franchi toutes ces collines on arrive sur la montagne proprement dite qui les domine toutes ; la pente devient très raide et elle est toute revêtue d'un épais taillis. Nous suivions un petit sentier tout en étant souffletés fréquemment par les branchages ; mais nous supportions tout et nous arrivâmes sur la pointe chauve du Teck... avant la voiture et les dames. C'était donc la seconde fois que nous faisions nos preuves dans l'exercice de la course. Sur le sommet de la montagne où il y a encore quelques restes des anciennes murailles du château, on jouit de la plus vaste des perspectives. C'était bien l'endroit le plus commode de toute la contrée pour y bâtir un nid de brigands ; car les ducs de Teck, malgré leur beau titre, ne valaient pas beaucoup mieux que le commun des gentilhommes.

Leur ancêtre, Berthold de Zehringen portait, comme tout le monde le sait, le titre ducal, tant pour le duché de Souabe qu'il ne posséda jamais que pour le duché de Carinthie qu'il ne garda pas longtemps, et il transmit ce titre à la ligne de ses descendants qui habitait Teck ; de la même manière, il transmit à une autre ligne le titre de margrave qui lui avait été apporté par le margraviat de Vérone lequel fut quelque temps entre ses mains. Je ne veux pas disputer leur titre aux ducs de Teck ; mais ce qui est certain c'est que leur résidence devait être très belle, mais aussi très froide ; Il règne là-haut un vent qui, bien que devant paraître une chose fort habituelle à des gens arrivant tout juste de la vallée du Neckar, ne se pouvait comparer à celui dont nous parlerons ultérieurement.

Note infrapaginale : nous ne voulions pas quitter Teck sans avoir vu le fameux trou de la Sybille. Des gens pensent que c'est une issue secrète que les ducs s'étaient ménagé pour, dans les cas urgents, sortir de leur fort. Je n'ai pas été dedans, je ne puis donc en dire grand-chose ; mais l'entrée est trop sauvage et ressemble trop aux entrées de toutes les cavités naturelles pour que cette tradition ait lieu de me paraître vraisemblable. Elle est tournée, cette cavité vers la petite ville d'Owen qui est située au pied de la montagne et qui était le chef-lieu du domaine de Teck. S'y trouvent encore les tombeaux des ducs de Teck, ainsi que leur arbre généalogique.

À la maison une belle collation avait été préparée par Mme la baillive, et afin que nous perdissions complètement tout ce que nous avions de forces, nous dûmes encore danser. De la sorte nous oubliâmes presque entièrement le but de notre voyage et, de l'état de naturalistes, nous étions passés à celui de purs petits maîtres, lorsque M. Klöckler, lequel avait jusque-là donné peu de signes de vie, s'approcha de mon oreille et me dit tout bas que nous lui avions été recommandés dans une lettre par M. le conseiller d'expédition Weisser à Stuttgart et que c'était pour cela qu'il était venu nous chercher pour nous conduire à sa tourbière. Son zèle était si grand qu'il me proposa de l'y suivre sur le champ ; à peine voulut-il prêter l'oreille à mes objections : que nous étions fort las, et que par ailleurs ce ne serait pas un grand témoignage de politesse de quitter les dames si vite. C'est un honnête Souabe tout pur, de bonne semence et de bon grain, et il est aussi étranger à la fatigue qu'à la politesse ; toutefois, il me dit du ton le plus honnête : « Qu'il en soit comme vous voudrez ; comme bon vous semblera » ; et c'est ainsi que furent par la suite ses réponses à toutes nos demandes. Pendant la danse cependant il ne voulut pas perdre tout à fait son temps. « Venez, dit-il, en me prenant par le bras : je veux vous montrer quelque chose. » Nous descendons dans le jardin où il y avait une espèce de ruche réellement peu commune. Elle est garnie de planches qui laissent aux abeilles des ouvertures uniquement pour l'entrée et la sortie. Il y a derrière la ruche un passage qui peut se fermer. Cette disposition n'est pas sans utilité, car le miel est moins chauffé par le soleil et ne peut fondre ; et ceci rend moins facile l'action des voleurs[47]. Après que nous eûmes pris congé de toute la société nous allâmes avec notre conseiller en commerce, dans la fraîcheur du soir, jusqu'à Kircheim où nous arrivâmes à la nuit close.

Là, il nous mena chez son beau-frère le jeune M. le docteur Osiander. Celui-ci possède un joli cabinet d'histoire naturelle qu'il nous fit voir avec l'obligeance la plus extrême. Cette collection se compose en majeure partie de coquillages et de minéraux. Nous y

46. Cuvier enverra depuis Montbéliard au cours de l'été 1788, un dessin à Louise Glettin car dans une lettre à Pfaff (Pfaff 1858: 50), il écrit à son ami :
« Mademoiselle Louise Glettin, à Dettingen, la plus robuste des femmes, a-t-elle reçu le dessin qui lui était destiné ? Tu pourras le savoir près du magister Duttenhofer ».

47. Sur cette page, à la plume deux ébauches de dessins d'oiseaux faites par Cuvier.

remarquâmes particulièrement une très grande corne d'Ammon pétrifiée en jaspe et plusieurs échantillons des ardoises de Mannsfeld. Mais, à mon avis, ce qu'il y a de plus précieux dans la collection, c'est la réunion, faite par M. le docteur lui-même, d'embryons à presque tous les stades de la grossesse ; on y distingue d'une fort belle façon les différents degrés de croissance du corps humain. Il y a aussi dans le nombre plusieurs fœtus monstrueux.

Il nous fit voir aussi une pièce curieuse, c'est le crâne d'un homme qui s'était pendu à cause de douleurs de tête constantes et incurables. On voit clairement la cause de cela et la complète impossibilité de la guérison ; il s'était formé une petite excroissance osseuse pointue longue d'à peine une ligne[48] et cette excroissance appuyait sur une artère de sorte qu'à chaque pulsation il se produisait nécessairement les douleurs les plus affreuses.

M. le docteur Osiander possède aussi une jolie collection en plâtre de bas-reliefs d'après l'antique, morceaux qui doivent tous provenir du musée de Cassel et dont l'examen nous a fait beaucoup de plaisir.

Klöckler nous força à prendre nos quartiers chez lui et nous permit, au moyen d'un bon souper et de bons lits, de renouveler nos forces. Mais dès six heures, il nous éveilla pour que nous fissions nos apprêts de marche vers sa tourbière tant vantée. Nous quittâmes donc Kircheim sans même l'avoir vu. Le soleil était couché lors de notre arrivée et il ne paraissait pas encore lorsque nous partîmes.

Mais Klöckler nous raconta en chemin beaucoup de choses : par exemple, il nous parla des chapeaux qui, ici, sont très bien fabriqués ; des quatorze moulins que la Lauter fait marcher ; de la fabrique considérable de mouchoirs et de cravates, laquelle a été fondée par le marchand Kolb, etc., etc. Ce serait bien ici le moment de décrire le lever du soleil et, suivant l'exemple de beaucoup de voyageurs, de rassembler à partir des poètes anciens et modernes toutes les descriptions pertinentes ou non pour composer un tableau de ce que chacun peut voir lui-même sans avoir à sortir de chez lui. Mais il y a pour moi un obstacle qui s'oppose à ce dessein, c'est que nous n'avons pas vu le soleil de la journée et moins encore à son lever, puisque le ciel était couvert de nuages sombres ; de sorte que si j'en parlais ici chacun de mes compagnons de voyage me taxerait de menteur le plus effronté.

La route qui va de Kircheim à la tourbière de Klöckler passe par les villages de Nabern, Bissingen et Ochsenwangen ; la tourbière est entre ce dernier village et Schopfloch, c'est-à-dire sur le versant le plus abrupt de l'Alpe. Entre Kircheim et Bissingen, le terrain est très uni ; les champs de cette région produisent le meilleur froment et l'arpent se paie jusqu'à 400 fl. Leurs terres sont pleines de petites pierres provenant sans doute des calcaires voisins du Teck et de Breitenstein. Le déjeuner eut lieu à Bissingen ; les petits pains blancs de cet endroit sont particulièrement bons ; ils se font dans des plats et sont pétris d'une façon particulière.

En ce lieu habite un homme qui travaille le marbre ; il n'a pas à aller loin pour quérir les matériaux ; les montagnes d'alentour ne contiennent presque pas d'autre pierre. En général, la majeure partie de l'Alpe en est composée et si cela était exploité en grand, cela pourrait devenir pour le Wurtemberg un nouveau matériau pour le commerce. Nous vîmes chez cet homme les plus belles sortes de marbre, et il y a plusieurs personnes à Stuttgart aussi bien que dans les autres villes qui possèdent des collections complètes d'échantillons parmi lesquels règne la plus grande diversité. On peut encore mieux s'en convaincre en considérant la salle de marbre et les autres travaux en marbre au palais ducal de Stuttgart ; car tout a été tiré du pays même. Du bol à polir, on en trouve sur le Teck, il n'y a que la pierre de Bimsen qu'on soit obligé de faire venir.

Il avait aussi une espèce d'ardoise qu'alentour on nomme Fleins[49] et qui sert au revêtement des sols ; la couleur en est grise et elle fait médiocrement effervescence avec les acides ; on l'exploite à Ohmden, Zell, Hartenhofen, du baillage de Kircheim.

Il doit faire venir l'albâtre de Rothenberg ; on sait que par là les minéralogistes allemands entendent une sorte de pierre de gypse qui reçoit aussi le poli quoiqu'à un degré moindre que le marbre. Cette dénomination n'est pas acceptée par les Français qui eux conservent le nom d'alabastrom à une sorte de marbre fin à laquelle elle appartient de toute ancienneté, et ils nomment la pierre dure de gypse alabestrit[50]. C'est une chose qu'il faut bien noter, parce que Vogel, dans son système de minéralogie, est de l'opinion erronée que les noms d'alabaster et d'alabestrit désignent simplement deux degrés différents de dureté. Il n'y a là cependant qu'une dispute de noms, c'est pourquoi nous ne devons pas nous y arrêter.

Avant Bissingen, on arrive à ce qu'on nomme le Breitenstein ; c'est une hauteur qui appartient à l'Alpe et qui est toute plate au sommet et c'est de cette configuration qu'elle a tiré son nom. C'est la raison pour laquelle il y a un gradin qui conduit à l'Alpe. Sur ce gradin nous trouvâmes en fleurs les plantes suivantes : *Primula veris elatior, Gentiana verna, Paris 4 x folia, Vinca minor, Orobus vernus, Pulmonaria officinalis, Helleborus foetidus, Actea spicata, Phyteuma spicata*[51].

Dans les pierres on voit quantité de cornes d'Ammon,

48. Douzième partie d'un pouce.

49. Fleins ; toujours exploités dans les célèbres carrières Hauff d'Holzmaden qui livrent une faune splendide du Lias (Jurassique inférieur).

50. Alabastrite.

51. La primevère, la gentiane, *Paris quadrifolia* : la parisette, la pervenche, l'orobe printanier, la pulmonaire, l'hellébore, l'actée, la raiponce.

Fig. 6. — Le tricoteur de bas à Münsingen (?). En citation : *Hic irresectum saeva dente livido, Canidia rodens pollicem , Quid dixit ? aut quid tacuit ?* [Alors, furieuse, Canidie, rongeant de sa dent bleuâtre son pouce qu'elle ne coupait pas, qu'a-t-elle dit ? Ou qu'a- t-elle tu ?] (Horace, *Épode V*, vers 47-49). Canidie désigne une parfumeuse napolitaine (Gratidie dans la réalité) sombre magicienne. Dessin au crayon de Georges Cuvier (170 × 120 mm). © Bibliothèque de l'Institut de France.

des plus grandes et des plus belles. À cette occasion il faut aussi que je relève une erreur commise par un grand nombre, entre autres par un écrivain devenu très célèbre depuis quelques années : M. Bernardin de Saint-Pierre, l'auteur des *Études de la Nature*. Les petites pierres de silex qu'on trouve partout dans les lits de craie, il les explique comme une cristallisation des corps des animaux dont les coquilles ont formé la craie[52]. Il est vrai que dans tous les coquillages pétrifiés qui se trouvent encore entiers sont attachés de petits cristaux aux parois intérieures ; mais pour que l'opinion de M. de Saint Pierre fût exacte, il faudrait que ces cristaux fussent de nature siliceuse et l'on trouve le contraire. Dans tous ceux que j'ai examinés, nommément dans les cornes d'Ammon du Breitenstein, il y a un simple spath calcaire qui fait bien effervescence avec les acides et ces cristaux auront été formés vraisemblablement par les traces d'humidité traversant la coquille. En un endroit, il y avait aussi quantité d'un ocre de fer très rouge tombé d'une crevasse de la montagne. Enfin, après une longue montée nous arrivâmes au sommet de la montagne où tout redevenait plat. C'était bien l'Alpe et la vraie[53]. Le climat change du tout au tout ; on se croit transporté au moins en Suède ; les arbres, qui dans la vallée du Neckar commençaient en partie à fleurir, avaient ici à peine ouvert leurs boutons, et de toutes les herbes, aucune n'était en fleur, si ce n'est le très précoce *Ornithogalum luteum*[54]. Ce qui, au premier coup d'œil, paraissait le plus misérable, c'était l'étonnante quantité de pierres de craie blanche qui jonchaient les champs ; certaines de ces pierres ont un pied de longueur et la moitié au moins de la surface de la terre en est couverte. Cependant, je crois que c'est malgré tout un bienfait pour ce pauvre pays ; si ces pierres blanches ne renvoyaient pas les rayons du soleil et avec eux la chaleur, l'avoine même ne pourrait pas y arriver à maturité. Le vent froid nous forçait à nous protéger les oreilles. Le premier village que nous rencontrâmes est Ochsenwangen, un lieu avec un bureau d'enregistrement. Un peu plus loin, on voit au milieu du plateau montagneux une vallée profonde où s'élève dans un isolement complet le mont Nellinger ; il a une forme conique et il nous semble avoir été autrefois un volcan ; si le temps de notre voyage n'avait pas été si court, nous l'aurions bien examiné de plus près ; mais M. le Professeur Storr à Tübingen nous a assurés depuis qu'il est bien possible qu'il n'y ait pas eu de volcans sur l'Alpe et que dans ses voyages il n'en a jamais rencontré trace.

À un quart de lieue au-delà d'Ochsenwangen se trouve la tourbière ; elle est particulièrement remarquable parce que M. le conseiller de commerce Klöckler a inventé un moyen de carboniser la tourbe dans des charbonnières ordinaires comme pour le bois, donc à moindre frais qu'avec la manière habituelle dans les fours. Le district où l'on trouve la tourbe est un peu déprimé et occupe une surface de quarante-cinq à quarante-huit arpents wurtembergeois. La tradition populaire veut que jadis une ville ait été engloutie en cet endroit. La première couche, de deux pieds de profondeur, contient de la tourbe qui peut se brûler pour les usages ordinaires ; mais on ne carbonise que la tourbe de la seconde couche parce qu'elle est bien plus pesante et plus noire, et contient donc plus de houille ; cette couche a six pieds de profondeur. Sous cette dernière existe une troisième couche qui a trois pieds de profondeur et dont l'aspect ne paraît pas différer du foin mouillé ; on distingue presque botaniquement les herbes dont elle se compose et des chevaux en ont même mangé, ainsi que M. Klöckler nous le raconta. Dans les trois couches se trouve une grande quantité de racines d'arbres mais de racines qui se coupent à la pelle aussi facilement que du beurre, quoique leur forme et leur couleur leur soient demeurées. La tourbe est un peu ferrugineuse, mais elle ne contient que des traces de soufre ; elle est donc de la meilleure espèce.

Avec l'aide des bêches représentées – fig.[55] – elle est coupée en morceaux régulièrement parallèles de 13" de longueur, 5 1/2" de largeur et 3 1/2" d'épaisseur. Quant elle est séchée les morceaux n'ont que 11", 4", et 2 1/2". Mille de ces morceaux coûtent à la fosse même 1 fl.40 et à Kircheim 2 fl.40.

Les meules à charbon sont couvertes d'un éteignoir, c'est-à-dire qu'elles sont bouchées avec le déchet des carbonisations antérieures ou, pour parler proprement, de cendre et de tourbe ; pour le reste, elles se construisent et s'allument absolument comme celles du charbonnage du bois. Une pleine voiture pour la combustion ne coûte que 30 fl. de frais. Cette tourbière occupe parfois jusqu'à vingt travailleurs. Les talents de M. Klöckler pour ces tourbières lui ont valu du duc le titre de conseiller de commerce.

Après qu'il nous eût tout fait voir avec sa « bonhomie » habituelle, nous remarquâmes qu'il était temps de poursuivre notre chemin. « Bien, comme vous voulez. » Nous le remerciâmes pour son bon accueil et nous nous fîmes conduire à Börhingen par un de ses travailleurs.

Le chemin passe par le village de Schoploch, dans une plaine inculte. Tout y était comme dans l'hivet le plus triste : des bois sans aucun feuillage ; sur l'Alpe à cause du manque de sable il y a très peu de bois à aiguilles[56] ; des champs pleins de pierres, et çà et là, encore de petits monticules de neige. À cette hauteur

52. Bernardin de Saint-Pierre H. J. 1792. — *Études de la Nature*. Tome 1, Étude quatrième. Didot jeune, Paris : 316-318.

53. En fait, Cuvier écrit seulement « *und zwar die aechte* ».

54. L'ornithogale.

55. La figure n'est pas dans le manuscrit.

56. Peu de conifères.

Fig. 7. — L'épouvantable coup de vent dans la prairie de Frohnthal. En citation : *Hic... Luctantes ventos tempestatesque sonoras Imperio premit...* [Ici... Aux vents en lutte et aux tempêtes retentissantes il – Éole – impose son pouvoir...] (Virgile, *Énéide*, livre I, vers 53-54). Junon demande à Éole de déchaîner la tempête contre les Troyens. « Ici » : dans l'antre d'Éole. Dessin au crayon de Georges Cuvier (140 × 110 mm). © Bibliothèque de l'Institut de France.

il n'y a pas un seul arbre fruitier ; les villages paraissent aussi dans une profonde misère ; partout des toits de chaume hideux ; des habitants en haillons ; tout contribue à représenter cette contrée comme la plus misérable du duché.

Auprès du triste état de la montagne, la belle vallée de Guttemberg[57], qui est derrière Schopfloch, fait un contraste des plus surprenants. Elle n'est pas large et, de trois côtés, des rochers presque à pic l'environnent. En haut, dans les rochers, c'était partout l'hiver ; en bas dans la vallée, c'était le plus agréable des printemps ; dans la vallée, ce n'est que gazon et ce gazon était alors du vert le plus frais, et dans sa plus grande partie couvert d'arbres en fleurs. Le joli petit cours d'eau de la Lauter y décrit toutes sortes de méandres, et fait tourner un moulin dès sa source. Au milieu de la vallée se situe le village de Guttemberg qui n'a pas de champs labourables, mais dont les prairies valent 1 600 fl. l'arpent et les vergers 2 000 fl.[58]. Autant la vallée est agréable, autant sont terribles ces murailles rocheuses verticales qui l'entourent ; murailles toutes nues et d'une hauteur étonnante. Je crois que cette vallée est[59]...

Il manque le feuillet 12, c'est à dire un recto et un verso. La figure 6 (le tricoteur de bas de Münsingen) correspond à ce feuillet manquant.

...hors de la chambre ; mais en montant elle rencontre une autre femme qui venait aussi chercher son mari. Alors la bacchanale recommença de plus belle et les maris furent forcés de céder aux clameurs réunies des deux ; ils s'en allèrent. On rejette la faute de toutes ces dissensions domestiques sur l'esprit de piétisme qui a été inspiré aux femmes de l'endroit d'une façon inintelligente par le pasteur en place.

Le 24 avril

On déjeuna de très bonne heure de la manière rapportée ci-dessus, et nous quittâmes Münsingen pour gagner Graveneck[60]. Tout contre la ville s'étendent des champs qu'il nous fallut traverser et, à mon chagrin extrême, ce fut assez long. Ce qui causait ma peine c'était le vent de l'Alpe qu'ici, pour la première fois, je sentis dans toute sa force. Les oreilles et le nez en souffrirent excessivement et l'on peut être assuré que c'est bien la plus grande incommodité qui soit particulière à cette région. Ce vent était si fort que je pouvais à peine respirer ; mes compagnons de voyage qui, probablement, n'étaient pas plus à leur aise que moi, rirent néanmoins beaucoup de la façon dont je me protégeais du froid et trouvèrent que j'étais bien tendre ; sans doute faisais-je aussi une figure un peu ridicule ; j'avais peur, à vrai dire, de laisser la largeur d'un pouce de ma peau exposée à la rigueur de l'air.

Aux champs succéda un joli raillis qui alors était encore dépouillé de ses feuilles, mais qui dans l'été et particulièrement dans le temps assez bref où le vent est absent, doit être très agréable. Le duc y venait très souvent lorsqu'il habitait Graveneck, soit simplement pour la promenade ou bien lorsqu'il s'y faisait donner la collation. Là fleurissaient : *Helleborus foetidus*, *Gentiana verna*, *Asarum europeum*, *Potentilla verna* et *Ranunculus bulbosus*[61]. Ce dernier, à cause de la froidure était resté excessivement petit. Au bout de ce bois se trouve Graveneck, vieux château de chasse que Son Altesse le duc actuel a fort agrandi et pour ainsi dire refait tout à neuf[62].
Le bâtiment principal a été augmenté d'un « corps de logis » et il y a encore près de vingt pavillons en enfilade qui y ont été ajoutés ; ils ne sont séparés que par des portes grillées et servent au logement de la cour. L'un d'eux contient la salle de spectacle : il y a là un joli théâtre où durant tout le séjour du duc, c'est-à-dire environ six semaines par an (car cette contrée n'est pas habitable plus longtemps), on jouait la comédie en français. La salle elle-même est petite et était destinée simplement à la cour.

La situation de Graveneck n'est rien moins qu'agréable, quoique sur une montagne qui, soit dit en passant, a dû être terrassée au prix de frais horrifiques ; il n'a vue que sur deux vallées étroites et l'air est si rude que, comme il a été dit plus haut, il n'est habitable que six semaines dans l'année.
On nous montre tout l'intérieur ; l'appartement principal, qui est dans le château neuf, a un beau salon et, de l'un et de l'autre côtés, plusieurs pièces fort bien meublées ; mais les autres chambres sont petites, distribuées et garnies avec une parcimonie presque ridicule.

Depuis bien des années ce château est abandonné et l'on a même remarqué que le duc, quant il est venu visiter ces contrées, n'a jamais demandé à le revoir. Au pied du château se trouve une vallée d'un très bel aspect pour celui qui la contemple d'une chambre bien chauffée. Les deux collines, qui en font trois, sont tapissées çà et là de petits groupes de sapins très pito-

57. Aujourd'hui Gutenberg.

58. La mesure des surfaces est donnée en « *morgen* », unité en vigueur dans le Wurtemberg.

59. Lackne : Cuvier peut vouloir dire avec ce mot, vernie, chanceuse.

60. Aujourd'hui Grafeneck.

61. L'hellébore, la gentiane, l'asaret, la potentille et la renoncule.

62. Sur cette page se trouve l'ébauche à la plume d'un cheval vu de trois quarts arrière.

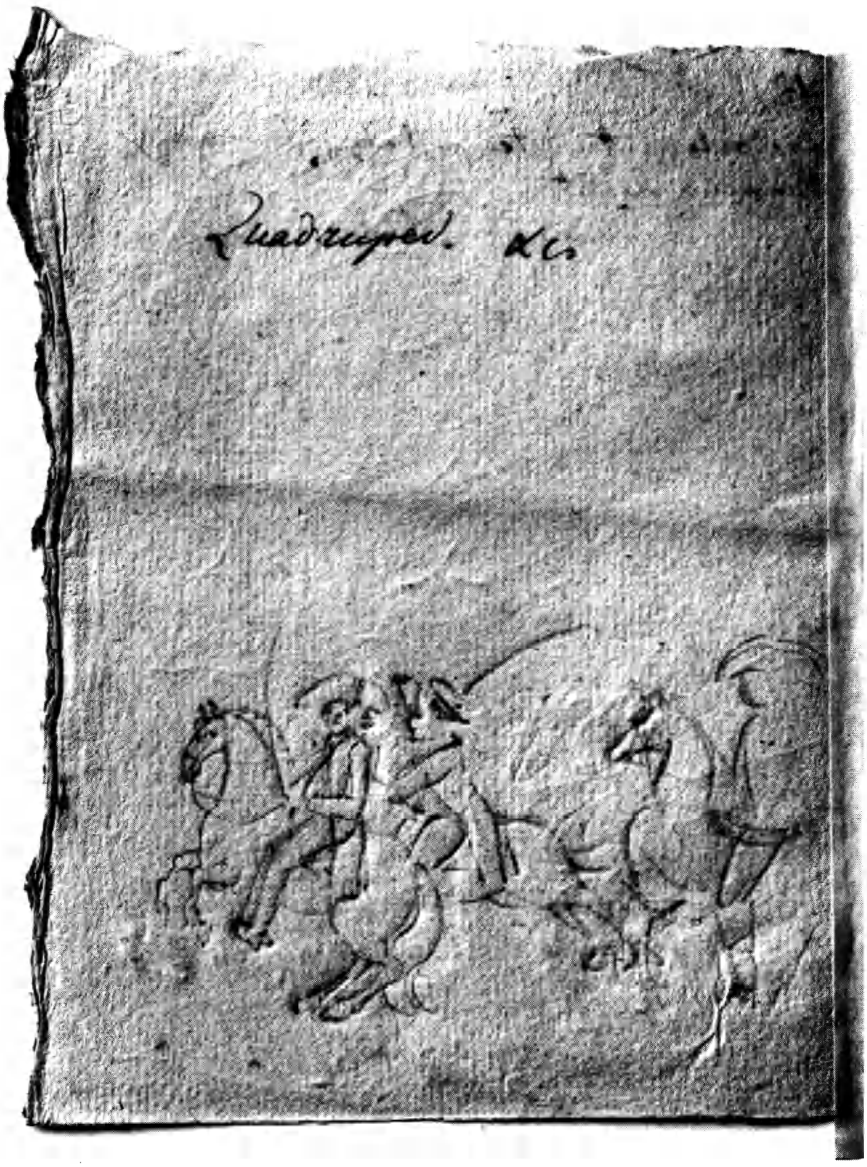


FIG. 8. — Trois cavaliers et leurs chevaux. En citation : *Quadruped.* Peut-être dessinés par Cuvier lors du passage au haras de Marbach. Dessin au crayon de Georges Cuvier (140 × 110 mm). © Bibliothèque de l'Institut de France.

resques. Au milieu coule un joli ruisseau qui se nomme aussi la Lauter, quoiqu'il soit très différent de celui qui passe près de Kircheim et dans la vallée de Guttemberg. Sur les montagnes plus élevées qui couronnent les collines, il y a des bouquets de bois majestueux ; tout cela fait un fort beau paysage où la nature agreste et l'art s'équilibrent dans de justes proportions, mais, imprudents voyageurs, ne vous laissez pas séduire par l'apparence. Dans cette si belle vallée règne le plus détestable de tous les vents que j'ai jamais sentis ; dans la caverne d'Éole il est impossible que ce soit pis (Fig. 7). La vallée doit faire à peu près l'effet d'un cornet acoustique, et les collines doivent repousser tous ces vents qui soufflent sur elles de telle façon qu'ils sont portés dans une seule et même direction ; car je doute fort que conjurés, les trente-deux vents de l'horizon fussent d'une plus âpre furie que le vent unique qui a élu domicile dans la prairie de la vallée de Frohn.

Au bout des prairies de la vallée de Frohn se trouve le haras de Marbach, comme si l'on avait voulu, comme autrefois le faisaient les poètes des fables ibères, engendrer les chevaux par le vent. Le fait est que l'endroit serait le mieux choisi pour cela. Pour parler sans plaisanterie, je considère comme un des principaux avantages de l'élève des chevaux wurtembergeois, qu'on ait placé les haras pour la plupart dans les régions froides de l'Alpe ; car bien que les bonnes races de chevaux proviennent aussi de pays chauds, comme l'Espagne, la Barbarie, l'Arabie, néanmoins la vraie patrie du cheval est la grande Tatarie ainsi que les pays dont les climats sont semblables à celui d'ici, et il doit aussi y croître et s'y multiplier le mieux. Je ne puis pas non plus laisser ce sujet sans louer l'attention particulière dont on peut se faire gloire dans le Wurtemberg pour cette branche de l'élève des bestiaux. Ce soin a déjà produit les meilleurs effets ; maintenant l'agriculture a des animaux de forces convenables ; par là aussi on se procure aisément des chevaux de selle et d'attelage, et l'on peut encore ouvrir au commerce de nouvelles perspectives. À la tête du haras de Marbach est un respectable vieillard, le vieux M. Hartmann, père du conseiller d'expédition R. de Stuttgart. Vu son grand âge, son second fils, qui a aussi la surveillance du haras, a l'œil sur presque toutes les affaires. On nous fit voir les étalons ; dans le nombre il y en a de très beaux (Fig. 8). Les paysans sont tous obligés de faire couvrir ici leurs juments, moyennant une somme tout à fait minime, et de la sorte la race du cheval s'améliore petit à petit dans le pays.

Près de Marbach, la vallée se sépare en deux ; nous prîmes le côté droit qui nous menait à Offenhausen ; il n'est pas aussi joli que la prairie de la vallée de Frohn, mais comme cela faisait un détour, on y sentait moins le vent, circonstance qui pour moi était très notable.

Offenhausen se compose seulement de quelques maisons et nous fûmes forcés de dîner chez le gouverneur du cloître. Il se trouvait par bonheur qu'il était oncle du D. Scholl, lequel était même venu avec nous jusque-là et nous servit d'introducteur. Cet homme doit percevoir les revenus de l'ancien couvent de nonnes. La Lauter prend sa source dans son jardin et ce ruisseau en est le plus bel ornement et supplée à un certain point au manque d'arbres fruitiers, car on ne peut voir un seul de ces arbres dans toute la contrée, si ce n'est peut-être les misérables petits pieds qu'on élève en caisses et que l'on rentre l'hiver dans la maison. La Lauter, dès sa source, fait tourner un moulin. L'endroit comporte également un haras, où les jeunes juments sont élevées jusqu'à un certain âge (si je m'en souviens bien deux ans) et elles sont ensuite conduites à Marbach.

Après le dîner, le gouverneur du cloître eut encore la bonté de nous faire conduire par son fils au village le plus proche, Kohlenstetten, d'où un paysan nous servit de guide vers le village suivant : Holzelfingen ; sur cette route assez longue il n'y avait aucune curiosité. Toujours une température de l'Alpe, des champs de l'Alpe, des arbres de l'Alpe et, plus souvent que je ne l'eusse souhaité, du vent de l'Alpe. Derrière Holzelfingen, il y a un sentier qui descend de l'Alpe vers Pfüllingen. On arrive d'abord dans une vallée tout à fait sauvage, d'une beauté formidable ; elle est toute étroite, très profonde, environnée de montagnes élevées, presque à pic et qui sont toutes garnies de broussailles ; on ne voit pour ainsi dire de ciel que large comme la main. Les ruines de quelques anciens châteaux font le dernier trait de cet ensemble mélancolique. Mais plus on s'enfonce, plus la vallée s'élargit, plus le climat s'adoucit. Tout semble prendre une teinte plus vive, enfin tout à fait en bas nous trouvâmes des arbres fruitiers en fleurs et même des vignobles. À l'examen de cette gradation, nous ne pûmes prêter l'attention qu'il aurait fallu ; une pluie qui survint nous chassa si vite que nous gagnâmes Pfüllingen à la course ; mais il semblait que les gens se fussent entendus pour nous désespérer ; « À quelle distance est Pfüllingen ? demandâmes-nous à quelqu'un : à une heure. » Au bout d'un quart d'heure de marche précipitée, nous demandons à un autre ; réponse : « une heure ». Un quart d'heure après, réponse encore « une heure » et deux fois encore de même. Il en était de cette ville comme de ces châteaux de fées qui fuient devant ceux qui les cherchent. Cependant nous vîmes enfin ce lieu et nous pûmes devant un bon feu nous sécher, nous chauffer et nous reposer dans de bons lits.

Dans la vallée que nous venons de décrire nous trouvâmes en haut : *Fumaria bulbosa*, *Gentiana verna*, *Hyacinthus botrioides* ; vers le milieu *Anemone ranunculoides*, *Primula veris*[63] et une plante qu'alors je n'ai pas pu examiner, parce que M. de Marschall avait oublié le Linné à Dettingen. Depuis ce temps, je n'en

63. La fumeterre, la gentiane, la jacinthe, l'anémone et la primevère.

ai pas revu de fraîche, mais pour plusieurs motifs je la considère néammoins comme : *Adoxa moschatellina*[64]. Afin que les connaisseurs soient en état de vérifier cette opinion j'ai dessiné planche... une copie de l'échantillon alors séché. Tel fut le quatrième jour.

Le 25 avril

À Nürtingen, le chevalier Dertinger nous avait donné une lettre de recommandation pour son oncle Brecht, le greffier de la ville de Pfüllingen. En conséquence, ce M. nous invita à déjeuner le 25 et nous donna alors tous les renseignements nécessaires sur la meilleure manière de visiter la contrée, les plus beaux endroits dans la région de Pfüllingen. Elle est extrêmement remarquable, tant parce qu'elle est au pied de l'Alpe et que, par là, la différence entre les lieux hauts et les lieux bas se tranche davantage, qu'à cause de quelques cavernes qui s'y trouvent, et à cause enfin du grand nombre de produits qu'elle offre des trois règnes de la nature surtout pour les plantes et les pétrifications.
La brièveté de notre séjour ne nous permit que de considérer le paysage en général, et nous ne pûmes entrer dans aucun détail. Nous nous en allâmes donc aussitôt après le déjeuner avec un guide. Moi, que la gelée sévère de l'étape précédente avait un peu atteint, je pris un cheval à Pfüllingen et je suivis de la sorte mes compagnons qui couraient à pied. M. le secrétaire de la chambre d'enregistrement de [...][65], Pfeiffer, qui, comme l'on sait, est natif de Pfüllingen, nous avait promis de se trouver là, pour nous faire voir lui-même les curiosités qui sont aux alentours de sa ville natale ; mais il n'avait pas encore paru et c'eût été peut-être la première fois en effet, pour autant que je sache, qu'il eût tenu sa promesse. Les objets de notre promenade d'aujourd'hui furent le Rossberg, le Nebelloch et le petit château de Lichtenstein.
Le Rossberg est une des pointes les plus avancées de l'Alpe, ou plutôt c'est une montagne en forme de quille qui est située à l'extrémité même de la chaîne de l'Alpe. Elle n'est connue que par la vaste perspective qu'on a de son sommet, et dans le fait c'est peut-être l'une des plus remarquables du Wurtemberg. Devant soi, l'on a tout le bas pays, comme sur un plan géographique ; et particulièrement les contrées les plus voisines, celles du baillage de Pfüllingen, et celles qui le touchent, lesquelles comme on le sait sont, pour la plus grande partie, plantées d'arbres fruitiers, représentant ce qu'il y a de plus beau en fait de jardins ; au moment où nous étions présents, tout était en pleine floraison et tout en était embelli autant que faire se peut.
Vers le sud, se trouve à droite, la Forêt-Noire qui montre ses pointes dans le bleu lointain ; tandis qu'à gauche s'étend la surface plane de l'Alpe, où le mont Achalm jouant le rôle principal, dresse sa tête couronnée de bois ; le chemin qui mène au Rossberg traverse d'abord une large vallée qui est formée entre le mont Achalm et le mont Jäger. Celui-ci est longé par un sentiet très pénible qui porte le même nom et ramène sur l'Alpe à travers un taillis. Aux alentours poussaient encore des herbes déjà souvent observées : *Fumaria bulbosa*, *Anemone ranunculoides*, *Mercurialis perennis*, et surtout en grande quantité *Convallaria majalis*[66]. En haut on traverse des plaines de gazon, sans rien rencontrer de précisément remarquable, jusqu'au village de Genkingen, une paroisse de 120 habitants avec un pasteur. En cet endroit nous commandâmes le dîner et nous prîmes un second guide qui nous montra le chemin en coupant à travers un taillis, puis des champs cultivés, vers le Rossberg distant d'une lieue environ. J'ai déjà décrit en partie cette montagne et j'ajouterai ici seulement que sa partie inférieure est tapissée de gazon, mais que sa partie supérieure l'est de bois, taillis et broussailles. Vers le haut, il devient si raide que je fus obligé de mener mon cheval à la main. En haut fleurissaient : *Mercurialis perennis*, *Pulmonaria officinalis*, *Anemone nemorosa*, *Primula veris elatior* ; au milieu : *Anemone pulsatilla* ; tout en bas, dans le gazon : *Gentiana verna* en quantité étonnante ; cela formait çà et là des monticules tout bleus.[67]

À Genkingen il fallut nous contenter de lard et de choucroute. Le maire qui est en même temps aubergiste, en dépit des lois wurtembergeoises, n'avait rien de meilleur à nous donner ; mais il nous rendit un grand service en nous conduisant au Nebelloch[68]. Le chemin est d'environ une lieue et demie ; à un endroit où il ne traverse qu'un plateau cultivé, on a une vue jolie et assez étendue : on voit le Rossberg, Bebenhausen, l'Ermitage, etc. On descend dans un taillis qui appartient aux paysans de Pfüllingen et de Genkingen et comme cela doit être avec de pareils maîtres, ces bois ne sont pas peu maltraités ; après cela on arrive devant l'ouverture du Nebelloch qui n'est pas autre chose qu'un trou au flanc de la montagne d'environ dix pieds de hauteur. Le roc est ici tout revêtu d'*Hypnum triquetrum*[69] et tout près poussent : *Anemone ranunculoides* et *Polypodium filix mas*[70]. Là, le maire du village voisin d'Oberhausen nous attendait

64. L'Adoxa.

65. Reuss ou Rennl. Mot difficile à lire et qui n'a pas été reproduit par le traducteur.

66. Le muguet.

67. À la plume sur le texte : « Vue d'un globe terrestre représentant esquissées l'Afrique et la Méditerranée. »

68. Aujourdhui Nebelhöhle.

69. L'hypne, une mousse.

70. Aujourdhui *Dryopteris filix mas* (L.) Schott, la fougère mâle.

déjà avec quatre ou cinq de ses paysans, tous armés de torches de bois et de quelques livres de chandelle. M. Brecht, le greffier de la ville leur avait annoncé l'affaire et suivant son message ils avaient fait ces préparatifs. Torches et chandelles sont fournies au frais de la commune d'Oberhausen et le petit bénéfice qu'il est possible d'en tirer lui revient ; mais les guides sont tous payés par les voyageurs. Le Nebelloch est une caverne comme il y en a tant dans les pays de montagnes ; pour l'histoire naturelle, elles n'ont rien de très important, mais cela n'empêche pas qu'elles soient visitées par la plupart des voyageurs. Il est commode en effet de broder à des choses si mystérieuses toutes sortes de prodiges enfantés par l'imagination. En déduisant tous les détours, le Nebelloch est un souterrain qui peut avoir une demi-lieue de descente, mais la pente n'est pas très raide. Près de l'ouverture gît un morceau de roc moussu qui paraît l'avoir recouverte autrefois. On peut pénétrer facilement partout sans être obligé de ramper, mais le sol est extrêmement inégal ; l'humidité qui dégoutte de la voûte a, dans certains endroits, formé des prééminences notables, lesquelles pour une imagination échauffée représentent toutes sortes d'objets ; je ne fatiguerai pas ici la patience du lecteur des noms bizarres et souvent ridicules qui ont été donnés à ces excroissances par les habitants du pays ; mais je dois noter que le grand nombre de ces inégalités du sol et surtout son humidité sont très dangereuses ; presque à chaque pas, il faut faire un saut et malgré tout le soin qu'on peut prendre, il est impossible qu'on puisse éviter de tomber plusieurs fois au moins. Contre cela nous nous étions prémunis fort prudemment en passant sur nous des blouses de paysan.

Les parois sont toutes couvertes de petites excroissances ayant l'apparence des chandelles de glace, et comme elles sont constamment maintenues baignées par l'humidité qui filtre, ces appendices font, à la lumière des torches, l'effet le plus magnifique et brillent tout comme des cristaux. Mais leur matière est opaque et n'est cristallisée en aucune façon ; elle fait fortement effervescence avec les acides ; c'est donc simplement un revêtement calcaire. Ce qu'il y a de plus beau dans toute la caverne, c'est une espèce de coupole conique d'au moins soixante pieds de hauteur tellement festonnée de ces chandelles décrites ci-dessus qu'elle en est toute garnie. Nous nous rassemblâmes tous sous cette coupole qui renvoyait en rayonnements les clartés des torches et des chandelles de tous les points de sa surface et en conséquence les multipliait de mille manières. Cela ressemblait en effet à la plus splendide de toutes les illuminations.

Autant notre admiration était grande, autant fut vive notre frayeur quelques instants après. Quelqu'un fit remarquer une pierre plate qui paraissait être tombée sur le sol et en regardant s'il était possible qu'elle fût venue d'en haut, observa, comme nous tous en même temps, que nous avions tout un lit de rochers suspendus au-dessus de nos têtes et qu'à chaque instant ces rochers menaçaient de crouler ; peut-être est-ce un fait accompli au moment où j'écris ceci ; la pierre qui était là, par terre, était certainement une de celles qui composaient ce lit rocheux. Comment ne nous sauvâmes-nous pas ?

Un peu plus loin, on trouve une eau très claire qui coule en traversant la grotte ; elle doit être très profonde et cependant il fallut la passer sur deux petites planches étroites et pourries. Pour nous redonner du cœur, nos guides ne manquèrent pas, comme c'est généralement le propre de ces sortes de gens, de nous raconter tous les accidents vrais ou inventés qui avaient dû se produire ici. Après avoir traversé en tremblant ce misérable pont, nous arrivâmes à un endroit où cette grotte projette une petite branche au bout de laquelle se situe en montant une petite ouverture, qui pourrait peut-être mener à des palais souterrains encore plus beaux et plus vastes. Mais il n'y avait personne encore qui y fût passé et M. le chevalier de Matschall qui voulait s'y risquer la trouva impraticable. Comme nous étions sur le point de sortir, nous entendîmes, venant de l'entrée, une voix de tonnerre qui nous appelait par nos noms, et quel ne fut pas notre plaisir, lorsque nous reconnûmes M. le secrétaire Pfeiffer ; nous recommençâmes avec lui notre promenade souterraine et il nous tint compagnie toute la journée.

Du Nebelloch nous nous dirigeons alors à travers des champs pierreux vers la pointe du pic sur lequel est situé le petit château de Lichtenstein. Nous contyâmes un rocher où il y a aussi une petite caverne dans laquelle on trouva en 1779 une quantité de petites pièces d'argent. Le greffier de la ville nous en donna quelques échantillons, j'ai dessiné (pl. fig.)[71] les deux faces autant que j'ai pu les distinguer, afin que des connaisseurs en monnaies plus habiles puissent en juger ; quand on songe au grand nombre de calamités et de guerres dont le pays de Wurtemberg a été le théâtre, on ne s'étonnera pas que l'on trouve de l'argent enfoui dans beaucoup d'endroits ; il y aurait bien plus sujet de s'étonner de ce qu'il ne s'en trouvât pas davantage.

Le château de Lichtenstein est dans une position bien singulière, sur un grand rocher à pic d'une hauteur étonnante ; il est cependant possible d'y accéder du côté de l'Alpe, mais il faut monter un peu. Le chemin traverse un bois qui ne se termine qu'au mur de la cour. Le bâtiment aussi est lui-même rehaussé et est si vieux qu'il menace de s'écrouler tous les jours. Un vieux pont entre deux rocs est l'unique entrée. De ce lieu romantique, on jouit de la vue la plus saisissante. Immédiatement au pied du roc, commence la vallée d'Ohmden qui est environnée de bois de part et d'autre ; ce ne sont que domaines boisés et sur une largeur d'une demi-lieue, elle contient trois villages : Ohmden[72], Oberhausen et Unterhausen, qui tous sont arrosés d'un joli ruisseau. Sur les collines qui bordent la

71. La figure manque.

Fig. 9. — La pluie à Ohmdenerthal. En citation : *Interea magno miscetur* murmure caelum... ruunt de montibus amnes* [Pendant ce temps, le ciel se mélange à un vaste grondement... les torrents se précipitent des montagnes] (Virgile, *Énéide*, livre IV, vers 160-164). * , Virgile dit « *misceri incipit* » : commence à se mélanger. Dessin au crayon de Georges Cuvier (180 × 100 mm). © Bibliothèque de l'Institut de France.

vallée, on découvre la totalité des Fildern, Ohenheim et toutes les localités avoisinantes ; c'était à cet instant une vue superbe parce que tout était sous la lumière du soleil, tandis que sur nous le temps était fort triste.
On dit que le duc est demeuré une fois presque une heure durant à la fenêtre du château à regarder avec une longue-vue cette belle portion de ses États. Dans ce château habite un garde forestier lequel, sous l'influence exercée sur son esprit par sa résidence, nous reçut avec une hospitalité toute chevaleresque ; autant sa résidence est belle, autant d'un autre côté elle est aussi désagréable. En hiver, le froid permet à peine de mettre le nez dehors et tout le long de l'année on tremble que la bâtisse tout entière ne soit précipitée par le vent dans la vallée. Il y a d'un côté de la muraille une fissure importante. La chambre des Domaines, malgré le nombre de demandes qui lui a été adressée pour une habitation moins dangereuse, n'avait pu encore prendre de décision à cet égard, et notre garde forestier s'efforçait pour cela de se gagner la protection de Pfeiffer ; peut-être était-ce aussi le motif des politesses qu'il nous témoignait.
De Lichtenstein un sentier long et ennuyeux conduit dans la vallée ; le long de ce sentier se trouvaient beaucoup d'ouvertures dans le roc, lesquelles laissaient aussi supposer des cavernes ; on assurait que quelques-unes avaient déjà été visitées ; il y avait aussi des restes de neige. À peine fûmes-nous dans la vallée qu'il se mit à pleuvoir de la plus belle façon (Fig. 9) ; je fus fort heureux d'avoir pris un cheval et je me mis au galop de toutes mes forces, tandis que mes pauvres compagnons de voyage pour me suivre en courant faisaient les plus grandes enjambées possibles. Je dus subir cette lessive pendant tout un quart d'heure, mais enfin je trouvai sur le chemin un moulin à papier où, tout ruisselant, je heurtai et là devant un grand feu j'attendis le reste de la société; ils arrivèrent en courant, l'un après l'autre, dans mon refuge, et tout le temps que le ciel prit pour se décharger de son superflu de fluides, nous le passâmes à la visite du moulin ; mais comme le moulin n'avait rien de particulier, il n'est pas nécessaire que j'en fasse la description.
Quand la pluie cessa nous allâmes tout droit à Pfüllingen où le souper nous attendait chez le notaire de la ville. Avec quelle bonté, quelle bonhommie, quelle amitié nous accueillirent le notaire de la ville, le bon M. Brecht et la notairesse, la bonne Mme Brecht. Il est vrai que le mari a une mine et un ton du siècle passé, mais les prévenances à notre endroit faisaient tout oublier, ou plus encore rendaient tout aimable. Nous demeurâmes ainsi jusqu'à minuit avant de donner du repos à nos membres fatigués.

Le 26 avril

Nous déjeunâmes avec M. Pfeiffer chez sa mère, et il fit encore avec nous une petite promenade dans la ville et à l'entour. L'ancien couvent de nonnes est déjà à moitié écroulé de vieillesse et il eût été imprudent de vouloir en visiter toutes les parties. Il y a aussi à Pfüllingen un vieux château assez vaste où habite aujourdhui le grand bailli. Nous visitâmes enfin deux jolies chutes d'eau dans une prairie voisine de la ville ; elles sont formées par la rivière. Ensuite nous revînmes pour faire notre visite d'adieu à M. le notaire de la ville, et, après beaucoup de compliments de part et d'autre, nous le quittâmes et prîmes le chemin de Reutlingen.
Ce chemin côtoie le mont Achalm ; quiconque voyage dans ces pays où le grand nombre des montagnes offre aux chevaliers une résidence commode, qui voyant les ruines de leurs châteaux et qui rencontrant dans le nombre quelques-uns de ceux dont les possesseurs se sont fait le plus remarquer dans l'histoire, éprouve toujours une certaine tristesse en contemplant les restes misérables de leur puissance ; il songe à leurs destinées si diverses ; il s'intéresse à leurs malheurs. Tel était l'effet que nous fit en particulier le mont Achalm, non pas qu'il représentât plus dans l'histoire que Wurtemberg, Teck, Tübingen et beaucoup d'autres ; mais le pauvre Conradin[73] l'avait possédé ; c'était bien assez pour émouvoir chacun. Conradin eut aussi beaucoup de droits à Reutlingen ; ensuite on a une pièce manuscrite où il reconnait avoir vendu *bona sua* dans Achalm et Reutlingen au comte Ulrich avec le pouce. De quelle nature étaient ces droits ? C'est ce que les historiens ne peuvent assurément pas préciser. Maintenant Reutlingen est une ville libre impériale, et bien qu'elle ne soit pas de la première richesse, ce n'est néanmoins pas une ville insignifiante. Il ne s'y est encore glissé aucun luxe ; le peuple arrive aux plus hautes dignités et il ne connait pas du tout la dommageable distinction entre patriciens et simples citoyens. Nous ne pouvions pas nous y arrêter, parce que nous n'y avions pas une seule personne de connaissance ; c'est pourquoi nous ne vîmes que les édifices publics.
L'église, quoique gothique, a des beautés. Ce qui nous étonna le plus, c'est la quantité de bassins ; dans la seule grande rue nous en comptâmes quarante-neuf. De Reutlingen il y a encore deux lieues jusqu'à Tübingen où devait se terminer notre voyage à pied. Pfeiffer qui ce jour là était à cheval, s'y rendit, commanda notre dîner et, sans attendre notre arrivée, alla tout droit à Stuttgart.
Après une longue lutte contre le vent qui, dans ces

72. Différente de la localité d'Ohmden située plus à l'est ; elle a livré des ossements de la patte d'un dinosaure sauropode, *cf.* : Wild R. 1978. — Ein Sauropoden-Rest (Reptilia, Saurischia) aus dem Posidonienschiefer (Lias, Toarcium) von Holzmaden. *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde*, Ser. B 41: 1-15.

73. Le duc Ulrich de Wurtemberg (1503-1519, 1534-1550) réussit à réprimer l'insurrection du « pauvre Conrad », provoquée par ses dépenses excessives, en faisant d'importantes concessions mais fut mis au ban de l'Empire et chassé de ses États par la Ligue souabe (*in Le Robert des noms propres*).

Fig. 10. — L'orgie de table à Tübingen. Scène de banquet. En citation : *Fit strepitus tectis vocempe per ampla volutant Atria...* [Il se produit un vacarme dans le palais et ils font rouler leurs voix à travers les vastes salles...] (Virgile, *Énéide*, livre I, vers 725-726). Dessin au crayon de Georges Cuvier (160 × 110 mm). © Bibliothèque de l'Institut de France.

contrées élevées, s'obstinait à ne pas nous quitter, nous descendîmes enfin par un bois de sapins la vallée du Neckar et nous découvrîmes le château et la ville de Tübingen. Nous prîmes nos quartiers à Lamm. Ce fut pour nous un coup d'œil fort inaccoutumé de voir là, à plusieurs tables, une quantité de figures d'ecclésiastiques en costume complet, jouer, boire, fumer, ou même se livrer à ces trois occupations à la fois. Bien plus grand encore fut mon étonnement, lorsque, sans préambule, une de ces figures me sauta au cou en me disant (en français), « Eh mon cher Cuvier, comment vous trouvez-vous ici ? Vous portez-vous bien ? » Je ne savais vraiment pas comment je me trouvais dans sa société, c'est que c'était un de mes camarades d'école à Mömpelgard[74] ; quelques instants après arrivèrent encore plusieurs de mes compatriotes ; il fallut que je me conformasse à leurs façons de vivre, et il y eut à vider avec eux quelques bouteilles.

Je rejoignis mes compagnons de voyage et nous visitâmes le cloître et assistâmes au souper des étudiants. Il n'y a pas de description possible du désordre et de la malpropreté avec lesquels cette cérémonie s'accomplit. D'abord c'est un réfectoire antique, tout ce qu'il y a de plus noir, où chacun court à sa guise dans tous les sens ; ensuite une foule de voix se fait entendre ; « Messieurs, asseyez-vous ! Asseyez-vous messieurs. » Ce sont les garçons qui crient cela sans discontinuer jusqu'à ce que tous soient assis à chaque table ce qui dure bien dix minutes. Alors commencent les choses sérieuses. Les aliments viennent dans des plats d'étain. Il y a des tables où l'on a de l'appétit ; là tous sautent vers le plat et, avant que les garçons ne l'aient posé sur la table, il n'y a déjà plus rien dedans. À d'autres tables on ne veut pas manger ; là les aliments servent à d'autres choses ; on se les jette à la tête, dans la gueule ; sur les vêtements, et quand il n'y a plus d'aliments, ce sont les assiettes et les os qui entrent dans la danse. Ou bien, là où l'on est plus civilisé, on dispute dans le plus grand vacarme et tous les discours sont assaisonnés d'un grand nombre de jurons et d'autres expressions fortes ; et pendant ce tapage infernal il y a un professeur en chaire qui prêche. Je dois avouer que malgré la quantité de ses gestes et de ses grimaces, je n'ai pas compris un mot de tout son sermon (Fig. 10). À quel point tout cela devait nous édifier, nous élèves de la faculté de Stuttgart, le lecteur peut se l'imaginer, et afin que nous eussions le spectacle au grand complet, nous arrivâmes à un moment où pas un des surveillants du service n'était présent ; après le souper une partie des étudiants retourne à l'auberge qu'ils venaient de quitter une demi-heure à peine auparavant, de sorte que toute la journée on peut y voir une quantité de robes noires. Les choses étant en l'état, il n'y a pas à s'étonner que M. l'aubergiste de Lamm soit un savant. En ma qualité de « caméral » il me fit part sur le champ qu'il était membre de l'Académie de Burghausen et que récemment il avait envoyé un mémoire sur les coccinelles lequel avait été déclaré digne de l'impression. Fait aussi partie de cette académie, aux côtés de M. l'aubergiste de Lamm à Tübingen, le conseiller aulique Kerner à Stuttgart : *par nobile fratrum*[75].

Le 27 avril

n'appartient pas proprement à notre voyage ; nous menâmes à Tübingen une vraie vie de citoyens. Chacun allait voir ses connaissances ; mais nous allâmes *in corpore* chez M. le chancelier Lebret qui nous invita à souper, et chez M. le professeur Storr. Comme naturaliste, une visite chez ce dernier s'imposait ; et la richesse de son entretien nous fut d'une utilité presque aussi grande que tout notre voyage. C'est un savant d'un bien grand mérite ; il est dommage que le style étrange de son histoire naturelle rebute un grand nombre de lecteurs. J'eus l'occasion à Tübingen d'acheter une de ses dissertations où il classe les mammifères suivant une méthode neuve et fort commode[76].

Nous allâmes voir aussi les curiosités de Tübingen, mais comme toutes les géographies en sont pleines, ce serait une vraie perte de temps que d'en parler ici. Je ne me permettrai pas davantage de faire des observations sur l'université ; même les plus dignes de ses représentants reconnaissent les défauts de son régime.

Le 28 avril

L'histoire est encore plus courte. Nous prîmes quatre chevaux, et regagnâmes Stuttgart aussi rapidement que possible, et là nous trouvâmes tous nos amis auxquels nous fîmes le récit de tout ce qui vient d'être décrit ; tout l'après-midi se passa à raconter, de sorte qu'ils en eurent les oreilles pleines

Remerciements

Je tiens à remercier vivement toutes les personnes qui ont favorisé mes recherches et qui m'ont aidé au cours de la réalisation de ce travail ; Mme Mireille Pastoureau, directrice de la Bibliothèque de l'Institut de France m'a permis de consulter les manuscrits de Cuvier et a donné l'autorisation de reproduire les dessins et aquarelles, Mme Monique Ducreux, conservateur en chef de la Bibliothèque centrale du Muséum

74. Montbéliard.

75. « Les grands esprits se rencontrent. »

76. Le professeur Storr avait publié en 1780 un ouvrage intitulé *Prodromus methodi Mammalium* avec une très intéressante classification des mammifères que Cuvier commentera dans ses ouvrages.

Fig. 11. — *Jungser Louise Glettin, zum Andenken des Spatziergangs auf den Teck Berg. T. 21 April 1788; gewidmet von G. L. Cuvier Mömpelgard D. 16 May 1788* [La jeune Louise Glettin, en souvenir de la promenade au Teckberg ; le 21 avril 1788 ; dessiné par G. L. Cuvier. Montbéliard le 16 Mai 1788]. Aquarelle de Georges Cuvier (160 × 160 mm). © Bibliothèque de l'Institut de France.

national d'Histoire naturelle m'a grandement facilité la tâche en m'autorisant à travailler sur le fonds Cuvier déposé dans les archives du Muséum ; Melle Françoise Fievez a traduit les citations de Virgile et d'Horace ; Mme Françoise Caby a recherché des informations relatives à certains des personnages cités dans le récit ; M. Denis Serrette s'est chargé de prendre les clichés des dessins ; M. Daniel Lavina a dessiné la carte et Mme Éliane Molin a assuré la mise en forme du texte ; je ne saurais oublier enfin tous les habitants du Jura souabe, au premier rang desquels je place mon collègue et ami, le Professeur Rupert Wild, du Musée d'Histoire naturelle de Stuttgart, dont l'accueil et l'hospitalité méritent tous les éloges.

Soumis pour publication le 30 juillet 1997 ;
accepté le 12 mars 1998.

ANNEXE

INVENTAIRE DES FEUILLETS DU MANUSCRIT (Ms 3312).

f° 1 lettre	papier blanc
f° 2 double	papier bleuté
f° 3 double	papier blanc
f° 4 double	papier bleu
f° 5 double	papier bleu
f° 6 double	papier bleu
f° 7 simple	papier bleu
f° 8 simple	papier bleu (monté à l'envers ; esquisse d'oiseaux au verso)
f° 9 double	papier bleu
f° 10 double	papier bleu
f° 11 simple	papier bleu
f° 12 manque	
f° 13 double	papier bleu (au verso, esquisse de cheval)
f° 14 double	papier bleu
f° 15 double	papier bleu
f° 16.double	papier bleu (au verso, esquisse d'un globe terrestre)
f° 17 double	papier bleu
f° 18 double	papier bleu
f° 19 double	papier bleu
f° 20 simple	papier bleu
f° 21 simple	papier bleu

Instructions aux auteurs

La ligne éditoriale

Elle prendra en compte divers aspects de la recherche en Sciences de la Terre, en particulier l'histoire et le comportement des bassins sédimentaires, la paléobiodiversité et les paléoenvironnements. Un numéro de *Geodiversitas* par an pourra être consacré, exceptionnellement, au débat contradictoire sur un sujet d'actualité, ou sur un thème donné et sous la responsabilité d'éditeur(s) invité(s).

Les manuscrits, dont le nombre de pages n'est pas limité *a priori*, devront suivre rigoureusement les recommandations aux auteurs (voir ci-dessous) et seront adressés à la revue :

Service des Publications Scientifiques du Muséum,
Geodiversitas,
57 rue Cuvier,
F-75231 Paris cedex 05
Tel : (33) 01 40 79 34 38
Fax : (33) 01 40 79 38 58
e. mail : bulletin@mnhn.fr

Les chapitres de systématique devront se conformer aux règles du *Code International de Nomenclature Zoologique.*

Tout manuscrit non conforme à ces instructions sera retourné pour mise au point. Chaque manuscrit est évalué par deux rapporteurs, ou plus.

Instructions aux auteurs

Chaque manuscrit soumis (y compris les illustrations) doit être présenté en trois exemplaires (un original et deux copies) au format A4, avec un double interligne et des marges d'au moins 3 cm ; chaque page sera numérotée. Les illustrations originales seront jointes au manuscrit définitif, ainsi qu'une disquette 3.5" de format Apple Macintosh ou compatible IBM (traitement de texte Word de préférence), qui devra contenir également les tableaux et éventuellement les illustrations (Adobe Illustrator, Photoshop ; Deneba Canvas).

Le format

Les manuscrits, écrits en français ou en anglais, doivent être structurés comme suit :

– titre si possible bref, en français et en anglais ; un titre courant doit être proposé ;
– nom(s) et prénom(s) de(s) auteur(s) suivis de leur(s) adresse(s) professionnelle(s), en indiquant si possible le numéro de Fax et l'adresse électronique ;
– résumés écrits en français et en anglais (800 signes au maximum chacun), suivis des mots clés et « key words » ;
– dans le texte courant, utiliser les italiques pour tous les noms en latin (taxons de rangs générique et spécifique, *et al.*...) ;
– dans le texte courant, les références aux auteurs seront en minuscules, ex. Dupont (2001), Dupont (2001, 2002), (Dupont 2001 ; Durand 2002), Dupont (2001 : 1), Dupont (2001, fig. 2).
– dans le texte courant, les références aux illustrations et aux tableaux de l'article seront présentées ainsi : (Fig. 1), (Fig. 2A, D), (Figs 3, 6), (Figs 3-5), (Tableau 1) ;
– les remerciements seront placés à la fin du texte, avant les références bibliographiques ;
– les références bibliographiques doivent suivre les exemples donnés ci-dessous ;
– indiquer dans la marge l'emplacement des illustrations dans le texte définitif ;
– donner les légendes des figures sur une feuille séparée.

Les illustrations

Une attention particulière sera portée à la qualité et la pertinence de l'illustration.

Les illustrations au trait doivent être réalisées à l'encre de Chine ou être fournies en impression laser. Les photographies, bien contrastées, seront sur fond noir ou blanc. Elles pourront être regroupées, et dans ce cas, identifiées par une lettre en capitales (A, B, C...). Les planches photographiques, placées dans le corps de l'article et non regroupées à la fin de celui-ci, doivent être traitées et numérotées comme des figures. Les illustrations pourront être assemblées sur une largeur de colonne (70 × 190 mm) ou sur toute la largeur de la justification (144 × 190 mm). La rédaction encourage la présentation de photographies avec tout ou partie de leur interprétation par un ou des dessins au trait. Aucune légende, ni lettrage ne sera placé sur les originaux. Ils figureront sur un calque joint avec chaque figure, la rédaction se chargeant de les placer. Chaque figure doit comporter une échelle métrique. Les tableaux et graphiques, à inclure dans

le manuscrit, doivent nécessairement pouvoir être imprimés sur une page et rester lisibles après réduction éventuelle. Des planches en couleur pourront être publiées moyennant une participation financière de ou des auteurs.

Références bibliographiques

Denison R. H. 1978. — Placodermi, *in* Schultze H. P. (ed.), *Handbook of Paleoichthyology*, Volume 2. Gustav Fischer, Stuttgart, 128 p.

Marshall C. R. 1987. — Lungfish: phylogeny and parsimony, *in* Bemis W. E., Burggren W. W. & Kemp N. E. (eds), The Biology and Evolution of Lungfishes, *Journal of Morphology* 1: 151-162.

Schultze H. P. & Arsenault M. 1985. — The panderichthyid fish *Elpistostege*: a close relative to tetrapods? *Paleontology* 28: 293-309.

Schultze H. P. 1977a. — The origin of the tetrapod limb within the rhipidistian fishes: 541-544, *in* Hecht M. K., Goody P. C. & Hecht B. C. (eds), *Major Patterns in Vertebrate Evolution*. Plenum Press, New York and London.

Épreuves et tirés à part

Les épreuves seront adressées à l'auteur ou au premier auteur (sauf indication contraire) et devront être retournées corrigées sous huitaine. Les corrections, autres que celles imputables à la rédaction ou à l'imprimeur, seront à la charge des auteurs. Le(s) auteur(s) recevront gracieusement vingt-cinq tirés à part, les tirés à part supplémentaires seront à commander sur un formulaire joint aux épreuves.

Soumettre un article pour publication dans *Geodiversitas* suppose que celui-ci ou tout article proche dans la même langue ou une autre langue, n'ait pas été soumis dans une autre revue, même dans l'attente de son acceptation. Les droits de reproduction de l'article, y compris des illustrations, sont réservés à la revue. La reproduction de tout ou partie de l'article doit faire l'objet d'une demande écrite préalable adressée à la rédaction.

Scope of the Journal

Geodiversitas publishes papers which concern varied aspects of Earth Sciences and particularly history of sedimentary basins, palaeobiodiversity and paleoenvironment. A complete issue of *Geodiversitas* may be devoted to several papers on a single topic under the responsability of guest editor(s). Papers with a systematic content should follow the *International Code of Zoological Nomenclature*. Manuscripts, without limitation of the number of pages, must conform strictly with the instructions to authors, and will be sent to the Editor:

Service des Publications Scientifiques du Muséum,
Geodiversitas,
57 rue Cuvier,
F-75231 Paris cedex 05
Tel : (33) 01 40 79 34 38
Fax : (33) 01 40 79 38 58
e. mail : bulletin@mnhn.fr

Instructions to authors

Manuscripts, with illustrations, must be submitted in triplicate (one original and two copies) in A4 format, double spaced, with margins of at least 3 cm and all pages numbered. The original figures should be sent with the revised manuscript, as well as a 3.5" diskette Apple Macintosh or IBM-compatible (Word, Word Perfect...) format, which will also contain tables and possibly figures (Adobe Illustrator, Photoshop; Deneba Canvas).

Format

Papers are to be written in simple and concise French or English. They should be organized as follows:

– a brief title in French and English;
– a suggested running head;
– name(s) of author(s), followed by their full professional address(es) and, if possible, Fax number and e-mail;
– abstracts (in English and French) not exceeding 800 signs each, with key words and "mots clés";
– text with italicized words for Latin (taxa of generic and specific ranks, *et al.*, ...);
– references to authors in main text should be presented, in lower case, as follows: Smith (2001), Smith (2001, 2002), (Smith 2001), (Smith 2001; Cary 2002), Smith (2001: 1), Smith (2001, fig. 2);
– references to illustrations and tables should be indicated as follows: (Fig. 1), (Fig. 2A, D), (Figs 3, 6), (Figs 3-5), (Table 1);
– keep acknowledgements short and place them at the end of the text before references; please do not

forget the revisers;
- give captions to illustrations on a separate sheet.

Illustrations

The editorial board will pay special attention to the quality and relevance of illustration.

Line drawings must be in Indian ink or high quality laser printouts; high contrast photographs, placed on white or black backgrounds, are required. These can be grouped into figures and identified by letters A, B, C ... Plates are not placed at the end of the article: they will be considered as figures and numbered as such. Arrange figures to fit one or two columns (70 × 190 mm or 144 × 190 mm). Associate interpretation of photograph with line drawing. No diagram or table is to exceed one page. Letters, numbers, etc., for each figure, are to be indicated on an accompanying overlay, not on the original figure (line cut or half-tone). A scale bar is needed for each figure.

References

Denison R. H. 1978. — Placodermi, *in* Schultze H. P. (ed.), *Handbook of Paleoichthyology*, Volume 2. Gustav Fischer, Stuttgart, 128 p.

Marshall C. R. 1987. — Lungfish: phylogeny and parsimony, *in* Bemis W. E., Burggren W. W. & Kemp N. E. (eds), The Biology and Evolution of Lungfishes, *Journal of Morphology* 1: 151-162.

Schultze H. P. & Arsenault M. 1985. — The panderichthyid fish *Elpistostege*: a close relative to tetrapods? *Paleontology* 28: 293-309.

Schultze H. P. 1977a. — The origin of the tetrapod limb within the rhipidistian fishes: 541-544, *in* Hecht M. K., Goody P. C. & Hecht B. C. (eds), *Major Patterns in Vertebrate Evolution*. Plenum Press, New York and London.

Proofs and reprints

Proofs will be sent to the first author for correction and must be returned within eight days by express mail. Authors will receive twenty-five offprints free of charge; further offprints can be ordered on a form supplied with the proofs.

The submission of a manuscript to *Geodiversitas* implies that the paper, or a similar one, is not being offered for publication elsewhere. Copyright of published paper, including the illustrations, becomes the property of the journal. Requests to reproduce material from *Geodiversitas* should be addressed to the editor.

Mise en page
Noémie de la Selle
Packaging Éditorial

Achevé d'imprimer
sur les presses de l'Imprimerie Durand
28600 Luisant (France)
Dépôt légal n° 10152

Printed on acid-free paper
Imprimé sur papier non acide

Date de distribution du fascicule 1 : 6 avril 1998

Couverture : Flysch à helminthoïdes (Crétacé supérieur, France)
© Muséum-Paléontologie-Paris/D. Serrette

geodiversitas 1998 • 20 (2)

Clément P. & Giannesini P.-J.
153 ● Les sédiments métallifères des fosses Atlantis II, Néréus et Commission I de la mer Rouge. Campagne MD 29 du *Marion Dufresne* (1981). Collections Lithothèque marine du Muséum

Ginsburg L., Arnaud M., Lary C. & Monleau C.
229 ● Le Miocène du bassin de Vence (Alpes-Maritimes, France) : stratigraphie et paléogéographie

Cavagnetto C. & Tambareau Y.
239 ● Palynologie du Selandien d'Oraas (Pyrénées-Atlantiques, France) : comparaison avec le microplancton du Danien-Selandien connu dans le monde

Henrotay M., Marques D., Paicheler J.-C., Gall J.-C. & Nel A.
263 ● Le Toarcien inférieur des régions de Bascharage et de Bettembourg (grand-duché du Luxembourg) : évidences paléontologiques et sédimentologiques d'environnements restreints proches de l'émersion

Taquet P.
285 ● Les premiers pas d'un naturaliste sur les sentiers du Wurtemberg : récit inédit d'un jeune étudiant nommé Georges Cuvier

Conception Graphique : Isabel Gautray ISSN : 1280-9659

Vente en France
Muséum national d'Histoire naturelle
Diffusion Delphine Henry
57, rue Cuvier, 75005 Paris,
France
Tél. : 33 - 01 40 79 37 00
Fax : 33 - 01 40 79 38 40
e.mail : dhenry@mnhn.fr

Sales Office (France excluded)
Universal Book Services
Dr. W. Backhuys
P.O. Box 321 2300 AH Leiden
The Netherlands
Tél. : 31 -71- 517 02 08
Fax : 31 -71- 517 18 56
e.mail : backhuys@euronet.nl